

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA NOSNÉHO TĚLESA OBJEMOVÝM TVÁŘENÍM

PRODUCTION OF CARRYING BODY BY SOLID FORMING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JAN DVOŘÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MILOSLAV KOPŘIVA

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jan Dvořák

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Výroba nosného tělesa objemovým tvářením

v anglickém jazyce:

Production of carrying body by solid forming

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Po vypracování literární studie ze zadané problematiky na jejím základě vypracovat návrh vhodné technologie výroby pro zadanou součást, nosné těleso.

Cíle diplomové práce:

- 1) Literární rešerše problému
- 2) Stávající možnosti výroby
- 3) Návrh technologie výroby zadané součásti
- 4) Stanovení veškerých technologických dat a vypracování výkresové dokumentace
- 5) Ekonomické zhodnocení
- 6) Závěr a návrh případných opatření

Seznam odborné literatury:

1. ELFMARK, Jiří, et al. Tváření kovů. Ing. Pavel Vávra. 1. vyd. Praha : SNTL Praha, 1992. 524 s. Technický průvodce; sv. 62. ISBN 80-03-00651-1.
2. NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno : Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1992. 186 str. Edit. VUT Brno. ISBN 80-214-0401-9
3. FOREJT, Milan. Teorie tváření a nástroje. 1. vyd. Brno : Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1991. 187 str. Edit. VUT Brno. ISBN 80-214-0298-6
4. HAŠEK, Vladimír. Kování. 3. vyd. Praha : SNTL Praha, 1997. 732 str. ISBN 04-233-65.
5. DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. Technologie tváření : plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno : CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
6. NOVOTNÝ, Karel. Výrobní stroje - Část I. - tváření. Skripta. 1. vyd., Praha, SNTL Praha, 1984, 112 s.
7. DRASTÍK, František. Výpočty z oboru kování a lisování. 1. vyd., Praha: SNTL Praha, 1991. 192 s. Edit. Makarius, M., L 13-E1-IV-41/22334/XI, DT 621.73

Vedoucí diplomové práce: Ing. Miloslav Kopřiva

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 14.11.2008

L.S.

doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRACT

Bc. Dvořák Jan: Výroba nosného tělesa objemovým tvářením. Diplomová práce magisterského studia 5. roč., šk. r. 2008/2009, studijní skupina 50/61. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Obor tváření kovů a plastů, květen 2009, str. 52, obr.18, tab.16, příloh.

Diplomová práce vypracovaná v rámci magisterského studia předkládá návrh výroby nosného tělesa objemovým tvářením. Kování je prováděno metodou zápustkového kování na klikovém lisu LZK 1000. Ohřev je indukční a ostřížení je provedeno na ostříhovacím lise LKOA-200. Materiál výkovku je ocel ČSN 14 220. Výrobní série je 100 000 kusů. Součástí práce jsou výpočty, návrh geometrie a ekonomické zhodnocení.

Klíčová slova:

Výkovek, opěrný držák, zápustkové kování, klikový kovací lis, zápustka.

ABSTRACT

Bc. Dvořák Jan : Production of carrying body by solid forming. Diploma thesis of Master's studies, the 5th graduate, school- year 2008/2009, study group 50/61. Brno University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Manufacturing Technology, Department of Metal Forming, May 2009, pages 52, Picture 18, tables 16, appendixes.

This diploma thesis has been elaborated within the Master's study that submits a production proposal of carrying body by solid forming. The forging has been performed using drop forging method at the crank forging press LZK 1000. Heating is inductive and flash trimming has been performed in the trimming press LKOA 200. The used material of the forging is steel ČSN 14 220. Production series is 100 000 pieces. A part of this thesis is calculations, geometric design and economical evaluation.

Key words:

Forging, supporting holder, drop forging, crank forging press, die.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Dvořák, J. *Výroba nosného tělesa objemovým tvářením*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 52 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Miloslav Kopřiva.

PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že zadanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně na základě uvedené literatury a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 27.05.2009

.....

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji touto cestou vedoucímu diplomové práce ing. Miloslavu Kopřivovi za vedení a cenné rady při řešení diplomové práce.

Obsah

Zadání

Anotace

Čestné prohlášení

Poděkování

1. ÚVOD	9
2. LITERÁRNÍ STUDIE	10
2.1 Rozdělení kování.....	10
2.1.1 Volné kování	10
2.1.2 Ruční volné kování.....	10
2.1.3 Strojní volné kování	10
2.1.4 Zápustkové kování.....	11
2.2. Konstrukce výkovků	11
2.2.1 Základní charakteristika výkovků	11
2.2.2 Technologické přídavky	11
2.3 Třídění výkovků do tříd	15
2.4 Zápustka	17
2.4.1 Konstrukce zápustky	17
2.4.2 Materiály zápustek.....	17
2.4.3 Dělicí rovina	18
2.4.4 Výronková drážka	20
2.4.5 Smrštění	22
2.4.6 Mazání	22
2.5 Ohřev.....	24
2.5.1. Ohřívací zařízení	24
2.5.2 Opal	26
2.6 Kovací stroje a příslušenství	27
2.6.1 Volba kovacího stroje.....	27
2.6.2 Porovnání buchar versus lis.....	27
2.6.3 Upínání zápustek	28
2.7 Tepelné zpracování	30
3. STÁVAJÍCÍ MOŽNOSTI VÝROBY ZADANÉ SOUČÁSTI.....	31
4. NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY	32
4.1 Zvolení způsobu kování	32

4.2 Technologický postup	33
5. STANOVENÍ TECHNOLOGIE VÝROBY	34
5.1 Materiál výkovku	34
5.2 Návrh výkovku.....	34
5.2.1 Zatřídění výkovku dle složitosti tvaru	34
5.2.2 Přídavky na obrábění.....	34
5.2.3 Velikost úkosů	34
5.2.4 Určení stupně přesnosti	35
5.2.5 Mezní úchytky a tolerance tvarů	35
5.2.6 Zaoblení hran a přechodů výkovku	35
5.2.7 Mezní úchytky zaoblení hran a přechodů.....	35
5.3 Návrh ideálního předkovku.....	35
5.4 Určení rozměrů polotovaru	38
5.5 Určení tvářecí síly	38
5.5.2 Tvářecí síla podle nomogramu	39
5.5.3 Porovnání velikostí tvářecích sil	40
5.5.4 Volba kovacího stroje.....	40
5.6 Výpočet síly pro ostřížení výronku	40
5.7 Výpočet střížné síly na dělení polotovaru	41
5.8 Určení rozměru dutiny zápustky	41
5.8.1 Smrštění.....	41
5.8.2 Mezní úchytky rozměrů dokončovací dutiny zápustky.....	42
5.8.3 Tvar a rozměr výronkové drážky	42
5.9 Rozměr zápustky	43
5.9.1 Minimální tloušťka stěny zápustky	43
5.9.2 Vnější rozměry zápustky	43
5.9.3 Volba vyhazovače	44
5.9.4 Materiál zápustek.....	44
5.10 Ohřev polotovaru	44
6. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	45
6.1 Náklady na materiál výkovku	45
6.1.1 Určení množství tyčí na výrobní sérii	45
6.1.2 Přímé náklady na materiál	45

6.1.3 Náklady na materiál na jeden kus výrobku	46
6.1.4 Stupeň využití materiálu	46
6.1.5 Hmotnost a cena vratného odpadu za celou sérii	46
6.2 Cena za zpracování zápustek	46
6.3 Režijní náklady	47
6.4 Celkové náklady	47
7. ZÁVĚR	48
8. SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	49
9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	51
SEZNAM PŘÍLOH	52

1. ÚVOD

Kování představuje jednu z nejstarších výrobních metod zhotovování předmětů. Počátky sahají až do 3. tisíciletí před naším letopočtem.

V dnešní době připadá až 60% vyráběné oceli na strojírenský průmysl. Z toho je asi jedna pětina vratný materiál v podobě třísky a jiného odpadu. To dokazuje důležitost rozvoje metod, které dávají kovu tvar za vzniku téměř nulového nebo minimálního odpadu. Jednou z těchto metod je kování.

Kování patří do technologie objemového tváření za tepla, kterou se docílí za ohřevu změna tvaru polotovaru uvedením materiálu do plastického stavu, aniž by došlo k porušení soudržnosti. Takto vyrobené součásti – výkovky, se vyznačují celistvou strukturou, vysokou houževnatostí a odolností proti šíření křehkého lomu při dynamickém zatěžování. V současné době se rozvíjí technologie přesného kování, tj. výkovky jsou kovány na hotovo s minimem úprav po vykování.

Moje diplomová práce je zaměřena na objemové tváření za tepla a to konkrétně na zápusťkové kování. Literární studie je tedy zaměřena především na tuto technologii.

2. LITERÁRNÍ STUDIE

2.1 Rozdělení kování [1] [5]

2.1.1 Volné kování [1] [2]

V současnosti se volným kováním vyrábí výkovky od několika dekagramů až po supertěžké s hmotností 250 – 300 tun.

Technologie volného kování je objemové tváření za tepla. Používá se pro výrobu volně kovaných výrobků od nejmenších hmotností až do několika tun. Volné kování se uskutečňuje ve všech typech výroby, a to jak v malosériové, tak i v hromadné, a to při výrobě předkovek pro zápusťkové kování. Volné kování se nejčastěji používá při výrobě velkých strojních dílů s vysokými požadavky na kvalitu, mechanické vlastnosti a homogenitu materiálu polotovaru pro tyto díly.

Základní kovářské operace volného kování jsou pýchování, prodlužování, osazování, prosazování, děrování, ohýbání, sekání a zkrucování. Všechny údaje o jednotlivých operacích volného kování, tj. od přípravy polotovaru přes ohřev až po vlastní tvářecí operaci i úpravy po vlastním kování, jsou zahrnuty v technologickém postupu. Ten obsahuje i pracovní postup.

Podle historického vývoje a použité energie při kování se rozděluje na ruční a strojní.

2.1.2 Ruční volné kování

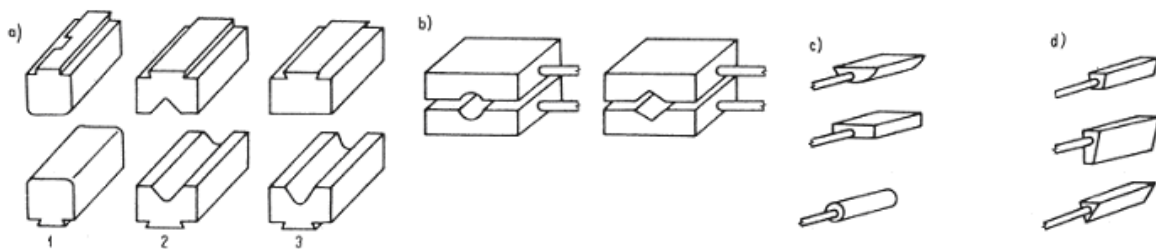
Ruční volné kování už nemá v průmyslové praxi podstatnější význam a je využíváno hlavně při údržbě, při opravách nástrojů a v uměleckém kovářství. Z tohoto důvodu je vhodným doplňkem dílen a kováren. Při ohřevu materiálu se používají výhně s bezprostředním stykem paliva a výkovku. Jako palivo se používá kovářské uhlí. K ohřevu dochází rychle při relativně nízkých nákladech na energii.

2.1.3 Strojní volné kování [1]

Od počátku svého vzniku výrazně rozšiřuje možnosti a výkon kování.

Obvykle rozdělujeme kovací stroje pro volné kování podle charakteru práce na buchary, lisy a speciální kovací stroje.

1. Buchary
 - Pružinové
 - Pneumatické
 - Parovzdušné
2. Hydraulické lisy
 - Síla 3 – 150 MN. Používají se hlavně pro těžké výkovky od 3 do 300 tun.
3. Speciální kovací stroje
 - Používají se v sériové výrobě pro výkovky různých tvarů a rozměrů s vysokým výkonem a kvalitou výkovků. V oblasti volného kování se jedná o redukování různých typů konstrukcí, které podle charakteru pohybu pracovních nástrojů a pohonu rozdělujeme na rotační a radiálně kovací stroje. Velký výkon zajišťuje jednak vysoký počet zdvihů až 600 m⁻¹ a vysoký stupeň automatizace procesu.



obr. 2.1 Základní kovářské nástroje [1]

- a) kovádla 1-rovná, 2-tvarová, 3-kombinovaná
- b) hladící příložky
- c) naznačovací příložky
- d) sekáče

2.1.4 Zápustkové kování [10]

Tvoří rozsáhlý obor tváření. Charakteristickým rysem je řízené tečení ohřátého kovu dle tvaru dutiny. Zápustka je zpravidla dvoudílná ocelová forma, která je rozdělena tzv. dělící rovinou na dvě části. V každé části je vytvořena dutina, která odpovídá tvaru výkovku.

Postup kování probíhá tak, že ohřátý polotovár vložíme do spodní zápustky a silou horní zápustky dohotovíme výkovek. Přebytečný materiál je potom vytlačen do tzv. výronkové drážky. Výronek je potom odstřižen.

Charakteristické znaky zápustkového kování jsou:

- dosažení větší přesnosti než u volného kování
- vyšší stupeň prokování – směr vláken kopíruje obrys zápustkového výkovku
- vysoká výkonnost a jednoduchá obsluha zápustky
- krátký pracovní čas
- možnost použití mechanizace a automatizace

2.2 Konstrukce výkovků

2.2.1 Základní charakteristika výkovků [4]

Kováním se zhotovují finální výrobky, ale také polotovary pro pozdější opracování, kde by užití normalizovaného válcovaného polotovaru bylo neekonomické. A to z důvodů úspory materiálu nebo pevnostních vlastností. Výkovky se zhotovují, buď volným, nebo zápustkovým kovááním. Pro zhotovované výkovky oběma způsoby je charakteristické, že mají materiálové přídavky na pozdější opracování a technologické na usnadnění výroby. Konstrukce výkovku je ovlivněna několika faktory jako např. tvar a velikost součásti, materiál výkovku, vyráběné množství, způsob konečné úpravy a konečné použití.

2.2.2 Technologické přídavky [4] [5]

Zjednodušují tvar výkovku, zejména ty části, které by se kovaly obtížně, nebo by jejich kování bylo neekonomické např. průchozí otvory kovem při kováání na blánu. Každý rozměr

větší jak 10 mm se zvětšuje, přidávají se přídatky na opal a na konečnou úpravu výkovku (většinou na obrábění).

a) přídatky na obrábění a výrobní tolerance

Přídavek na třískové obrábění se k rozměru přidává ze dvou hlavních důvodů:

- 1) pokud se kování nedosáhne potřebná jakost povrchu součásti
- 2) pokud se kování nedosáhne požadovaný přesný rozměr, tj. odchylky předepsané na součástce, které se nedají dosáhnout kováním

b) zápustkové úkosy

Z důvodu ulehčení vyjmutí hotového výkovku ze zápustkové dutiny, především při použití bez vyhazovačů je potřebné, aby stěny dutiny byly přiměřeně zkosené směrem k dělicí rovině. Úkosy mají být tak velké, aby se eliminovaly třecí síly a výkovek bylo možné oddělit bez větších těžkostí od dutiny. To platí především pro buchary, kde se nepoužívají vyhazovače.

Z hlediska úspor materiálu a pracnosti při obrábění by však úkosy měly být co nejmenší.

Velikost zápustkových úkosů je závislá na:

- materiálu výkovku – jeho tepelné roztažnosti (smrštivosti)
- velikosti a tvaru výkovku - rozměrové charakteristiky, poměr h/d a pod.
- způsobu vyplňování dutiny
- drsnosti dutiny a podmínek mazání
- rychlosti chladnutí – smrštění

Tvářecí stroj	Vnitřní plochy			Vnější plochy		
	úkos	úhel	použití	úkos	úhel	použití
Buchar	1:5	11°	Obvyklé	1:5	11°	U vysokých žeber
	1:10	6°	Mělké dutiny	1:10	6°	Obvyklé
				1:20	3°	Při malé výšce
Klikový nebo vřetenový lis	1:5	11°	Hlubší dutiny	1:10	6°	Při větší výšce
	1:10	6°	Obvyklé	1:10	6°	Obvyklé
	1:20	3°	S vyhazovačem	1:20	3°	S vyhazovačem
Horizontální kovací lis	1:10	6°	Pro dutiny	1:10	6°	U tvarů pýchovaných v lisovníku
	1:50	1°	Pro otvory			1:50

Tab.2.1 Velikost úkosů při kování [4]

c) poloměry zaoblení

Zaoblení hran výkovku patřičnými poloměry je potřebné nejméně ze dvou důvodů:

- zatékání a plynulost toku při vyplňování zápustky
- zabránění vrubových účinků v dutině zápustky

Určitou úlohu mají poloměry i při vyjímání výkovků z dutiny zápustky. Větší zaoblení hran a rohů prodlužuje životnost zápustky. Nedostatečná zaoblení v zápustce zvětšují odpory při tečení materiálu a na povrchu výkovku se mohou tvořit zákovky. Informativní hodnoty poloměrů hran a rohů h_z/f (h_z - výška výkovku, f - šířka výkovku) jsou uvedeny v tabulce 2.2.

Výška (hloubka) h_z [mm]		Poloměry zaoblení hran a rohů při poměru					
		$\frac{h_z}{f} = 2$		$\frac{h_z}{f} = 2 - 4$		$\frac{h_z}{f} = 4$	
Přes	Do	r_z	R_z	r_z	R_z	r_z	R_z
0	25	1,5	4	2	2,5	2,5	6
25	40	2	5	3	3	3	11
40	63	3	8	4	4	4	16
63	100	5	12	5	7	7	22
100	160	7	17	8	9	9	32
160	250	13	30	16	20	20	65
250	400	20	50	25	30	30	100
400	630	30	80	40	45	45	150
630	1 000	Po dohodě s výrobcem					

Tab.2.2 Poloměry zaoblení [5]

d) přesnost výroby výkovků

Zápustkové výkovky z neželezných kovů se vyrábějí s přesností IT 17 v obvyklém vyhotovení, IT 16 v přesném vyhotovení, IT 15 ve velmi přesném vyhotovení. U slitin hliníku se dosahuje přesnosti IT 14 až 16. S přesností rozměrů zápustek souvisí i drsnost opracování jednotlivých ploch daná normami. Dále s otázkou přesnosti souvisí i smršťivost. Příklad na smršťivost se dává pro všechny rozměry, které jsou větší než 10 mm s výjimkou spojovacích rádiusů. Velikost smršťení závisí také na velikosti kovací a dokovací teploty.

Materiál	Smrštění
Běžné třídy oceli	1,0 až 1,3
Ložiskové oceli	1,5
Austenitické oceli	1,5 až 2,0
Mosaz	1,0 až 1,7
Slitiny Al	0,6 až 1,0
Al-bronzy	1,0 až 1,3

Tab.2.3 Hodnoty smrštění [4]

Typ dutiny (plochy)	Opracování Ra
Předkovací dutina	1,6 až 3,2
Dokončovací dutina	0,8 až 3,2
Pomocná dutina	3,2 až 6,3
Můstek výronkové drážky	0,4 až 3,2
Dosedací plochy	1,6 až 3,2
Upínací plochy	1,6 až 3,2
Zásobník	12,5
Ostatní vnitřní plochy	12,5
Kontrolní roh	3,2 až 6,3
Vedení zápusťky	1,6
Otvory na dopravní kolíky	12,5
Drážky na pera	1,6 až 3,2

Tab.2.4 Drsnost opracování zápusťkových dutin [12]

e) předkování děr

Při zápusťkovém kování se otvory kovají tzv. na blánu. Otvor není průchozí, ale je tam blána, která se po vykování dílce odstříhne.

Proto při kování otvorů je nutné stanovit tloušťku blány. Tloušťka blány se určí ze vzorce:

$$s = 0,45 \cdot \sqrt{D - 0,25 \cdot h_1} - 5 + 0,6 \cdot \sqrt{h_1} \quad (2.1)$$

Pro případ, kdy $(d - 1,25R) > 26$ se doporučují blány s úkosem do středu dle obr.2.2 a). Při kování nízkých výkovků kruhového tvaru a velkého průměru a hlavně u výkovků, které se kovají z předkováných kruhů, se doporučuje tvar dle obr. 2.2 c). Potom se tloušťka blány určí ze vzorce:

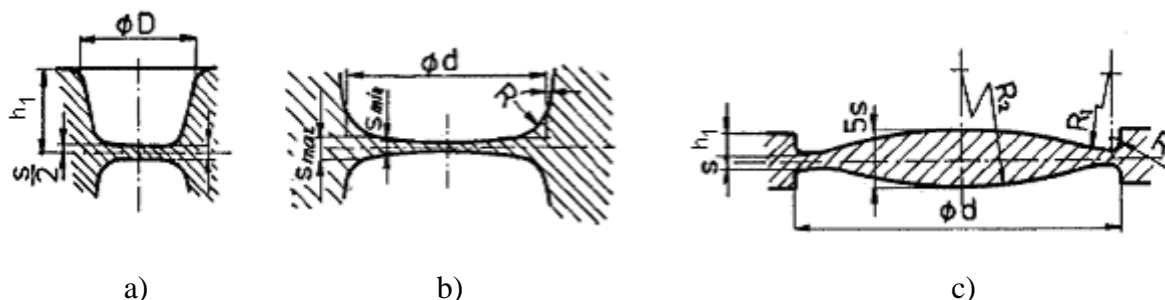
$$s = 0,4 \cdot \sqrt{d} \quad (2.2)$$

poloměr R_1 pak ze vzorce:

$$R_1 = 5 \cdot h_1 \quad (2.3)$$

Poloměr R_2 je nutno najít graficky. Funkce tohoto tvaru blány se blíží funkci výronku, může sloužit i jako zásobník přebytečného materiálu, např. při kování kroužků velkých průměrů bez

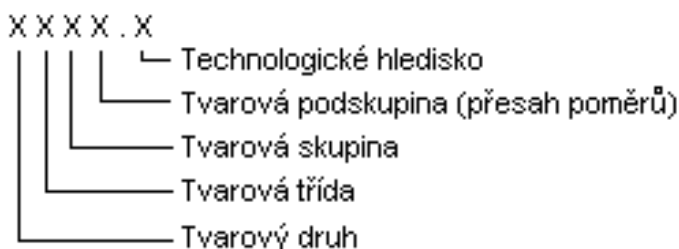
vnějšího výronku. Zde je však problém při konstrukci zápustky, kdy je potřeba, aby přebytečný kov vytékal právě do blány.



obr. 2.2. Tvary blán pro předkování otvorů [6]

2.3 Třídění výkovků do tříd [10]

Základním kritériem pro třídění výkovků je jeho tvar. Každou navrhovanou součást pro zápustkové kování lze dle jejího tvaru zařadit do určité skupiny výkovků. Pro každou skupinu je doporučen určitý způsob technologického postupu výroby. Tím se usnadní sestavení technologického postupu a výkresu výkovku, ale i konstrukce zápustky. Výkovky je možno třídit i podle stroje, na kterém budou vyráběny.



Tvarový druh (X X X X . X)

- 4 výkovky kruhového průřezu plné
- 5 výkovky kruhového průřezu duté
- 6 výkovky hranolovitých tvarů plné i duté
- 7 výkovky kombinovaných tvarů plné i duté
- 8 výkovky s ohnutou osou
- 9 výkovky složitých tvarů s přímou dělicí plochou
- 0 výkovky s lomenou dělicí plochou

Tvarová třída (X X X X . X)

- 1 konstantní průřez
- 2 kuželovité (jehlanovité, klínovité)
- 3 jednostranně osazené
- 4 oboustranně osazené
- 5 osazené s kuzelem (jehlanem, klínem)
- 6 prosazené

- 7 kombinované
- 8 kombinované s kuželem (jehlanem, klínem)
- 9 členité (u tvarového druhu 8 – výkovky s hákem)
- 0 neobsazeno

Výkovky zařazené podle tvarového druhu 9 a 0 se dále rozdělují do tvarových tříd:

- 1 převážně kruhový průřez
- 2 převážně plochý průřez
- 3 s hlavou a jedním ramenem
- 4 s hlavou a více rameny
- 5 jednostranně rozvidlené
- 6 oboustranně rozvidlené
- 7 zalomené
- 8 šroubovitě (stoupání < 1) – pouze u tvarového druhu 0
- 9 šroubovitě (stoupání < 1) – pouze u tvarového druhu 0

Tvarová skupina (X X X X . X)

U výkovků zařazených do jednotlivých tvarových tříd jsou čísla 1 až 8 dále tříděny výkovky podle štíhlostních a jiných dále uvedených poměrů. Výkovky druhu 4, 6 a 7 s dělicí plochou ve směru hlavní osy (technologické hledisko 1, 2) jsou zásadně děleny na výkovky bez otvoru (označené čísla 1 až 4) a na výkovky s otvorem (označené čísla 5 až 8). Výkovky s dělicí plochou kolmo na hlavní osu (technologické hledisko 3, 4, 5) a výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech (technologické hledisko 6, 7, 8) jsou zásadně děleny na výkovky plné (označené čísla 1 až 4) a na výkovky duté (označené čísla 5 až 8).

Jinak se výkovky rozdělují na výkovky nízké a vysoké nebo na výkovky krátké a dlouhé. Dále se třídí podle vzájemných poměrů výšek, průměrů, šířek, velikostí úhlů ohybu nebo počtem ohybů, velikostí rozvidlení, počtu zalomení, úhlu polohy jednotlivých ramen zalomených hřidelí a velikosti úhlu natočení listů lopatek.

Tvarová podskupina (X X X X . X)

Zápustkové výkovky, které přesahují stanovený maximální poměr dvou na sobě závislých veličin, se označují podle jednotlivých vzájemných poměrů čísla 1 až 9. Zápustkové výkovky, které nepřesahují stanovený maximální poměr dvou na sobě závislých veličin, se označují číslem 0.

- 1 přesah v poměru $L : B$ (D) nebo $H : B$ (d)
- 2 přesah v poměru $H : H_1$ ($D : D_1$)
- 3 přesah v poměru $B : B_1$
- 4 přesah v poměru $F : F_1$
- 5 přesah v hloubce dutiny $h : d$ nebo úhlu listů lopatek β
- 6 přesah v tloušťce dna nebo blány H_1
- 7 přesah v tloušťce stěny s nebo velikosti rozvidlení $l : b$
- 8 přesah v zaoblení přechodů a hran R, r
- 9 kombinace několika přesahů
- 0 bez přesahu

kde: $L, h, H, D, d, B, B_1, F, F_1, R, r$ – jsou rozměry výkovků, které udává norma ČSN 42 9002
Technologické hledisko (X X X X . X)

- 1 výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy - souměrné
- 2 výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy - nesouměrné
- 3 výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu – souměrné
- 4 výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu – nesouměrné
- 5 výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu – s ozubením
- 6 výkovky zhotovené na vodorovných kovacích lisech – souměrné
- 7 výkovky zhotovené na vodorovných kovacích lisech – nesouměrné
- 8 výkovky zhotovené na vodorovných kovacích lisech – s ozubením
- 9 výkovky s více dělicími plochami
- 0 neobsazeno

2.4 Zápustka

2.4.1 Konstrukce zápustky [6]

Při návrhu konstrukce zápustky vycházíme ze stanoveného typu tvářecího stroje. Na základě vypočítaných tvářecích parametrů volíme příslušnou velikost stroje. Tím je do značné míry dán způsob kování, způsob upevnění zápustky a je omezená velikost zápustkových bloků, či vložek. Po návrhu výkovku určíme tvarovou složitost, a zda budeme kovat v jedné dutině nebo zda rozdělíme kovací proces na několik operací.

2.4.2 Materiály zápustek [2] [4] [6]

Na zápustkový materiál jsou kladeny vysoké požadavky:

- a) vysoká tvrdost, houževnatost a mez tečení, tj. dobrá tvarová stálost, vysoká mez kluzu a tažnost
- b) vysoká pevnost za tepla, tj. schopnost udržet si dostatečnou tuhost i při vyšších teplotách (až do 650 °C)
- c) odolnost proti tepelným rázům a krátkodobému kolísání teploty
- d) vysoká otěruvzdornost
- e) dobrá obrobitelnost
- f) jednoduché tepelné zpracování a necitlivost proti vzniku trhlin při kalení

Při volbě materiálu na zápustku je potřeba se řídit těmito kritérii a vlivy:

Materiál výkovku – pro legované a nelegované oceli o nízké přetvárné pevnosti stačí zápustkový materiál měkkší a s menší odolností proti opotřebení

Způsob kování – při kování na bucharech je zápustka namáhána více mechanicky, na lisech je zase namáhána více tepelně

Velikost výrobní dávky – při velkém množství výkovků je třeba volit materiál s vysokou životností

Tvar dutiny – pro ploché dutiny lze použít materiál křehčí o vyšší tvrdosti, pro hluboké dutiny a tvarové dutiny je nutno použít materiál zvlášť houževnatý a zušlechtěný v celém průřezu

Konečná volba materiálu je dána dosažitelnou pevností i za vyšších teplot, hloubkou prokalení a ekonomickým hlediskem (cena materiálu a životnost zápustky). Pro výrobu zápustek se nejčastěji používají chromniklové oceli (např. 19 650, 19 662, 19 663,...), které se hodí pro střední a velké zápustky pro buchary i lisy. Jsou houževnaté a málo náchylné k praskání. Jejich nevýhodou jsou poměrně nízké popouštěcí teploty ($450 \div 500$ °C), takže se nehodí na tvarově složité výkovky.

Podobné vlastnosti má ocel 19 642, která má vyšší obsah niklu, což zajišťuje větší prokalitelnost a houževnatost, takže se hodí pro velké zápustky pro kování na bucharech.

Do další skupiny patří oceli chromové s přísadou Mo, příp. W a V typu 19 552, 19 553. Tyto oceli mají o něco vyšší popouštěcí teploty. Jsou vhodné pro středně velké zápustky pro lisy i pro buchary.

Pro malé a složité nástroje, které vyžadují dobrou odolnost proti opotřebení, se používají wolframové oceli typu 19 721, 19 723. Tyto oceli je možno použít i pro vložky zápustek. Jsou však citlivější na teplotní rázy a snadno tak praskají.

Samostatnou skupinu tvoří ocel LN (19 541), což je 3% molybdenová ocel, která se používá především pro nástroje chlazené vodou, pro lisování, protlačování a tlakové lití kovů.

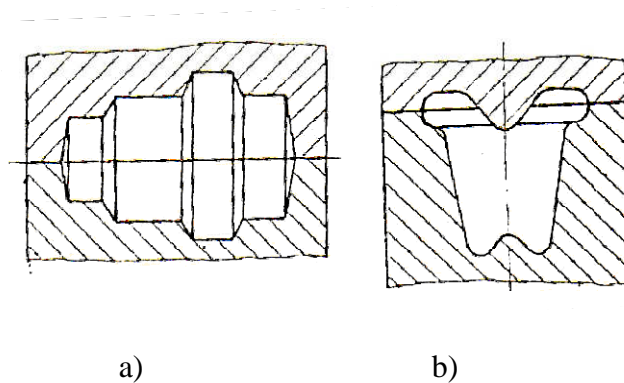
Pevnost, na kterou je doporučeno zápustky zušlechtit, záleží především na velikosti bloku zápustky a na hloubce dutiny. Doporučují se tyto hodnoty:

- | | |
|--|-----------------------------|
| - velké zápustky o hmotnosti 1 000 kg a více | - pevnost 1 000 – 1 250 MPa |
| - střední zápustky o hmotnosti kolem 500 kg | - pevnost 1 200 – 1 350 MPa |
| - malé zápustky o hmotnosti kolem 100 kg | - pevnost 1 450 – 1 600 MPa |
| - velmi malé zápustky, vložky a trny | - pevnost 1 500 – 2 000 MPa |
| - pevnost kořene u bucharových zápustek | - pevnost 850 – 1 000 MPa |
| - pevnost vložkovaných bloků | - pevnost 1 000 – 1 200 MPa |

2.4.3 Dělicí rovina [4] [5]

Dělicí rovinu volíme podle tvaru výkovku a může být buď rovná, lomená nebo příp. zakřivená. Dělicí rovina se umísťuje do roviny dvou největších vzájemně kolmých rozměrů nebo do roviny souměrnosti výkovku. Jestliže jiná volba dělicí roviny umožňuje snížení váhy výchozího polotovaru, zmenšení obvodu výronku apod., užívá se způsob uvedený na obr. 2.3b. Vyšší výkovek se umísťuje do horního dílu zápustky. Volba dělicí roviny je důležitý úkon, neboť nám musí umožnit:

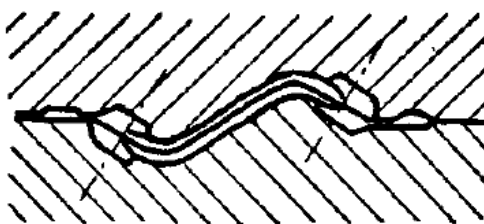
- a) snadné vypracování zápustkové formy a nízké náklady na její výrobu
- b) jednoduché a levné předkování výkovků
- c) malá spotřeba materiálu výkovku
- d) přesné vykování výkovků bez větších obtíží
- e) snadné vyjímání hotových výkovků
- f) vhodný průběh materiálových vláken
- g) čisté ostřížení výronkové drážky



a)

b)

obr.2.3. Volba dělicí roviny [2]



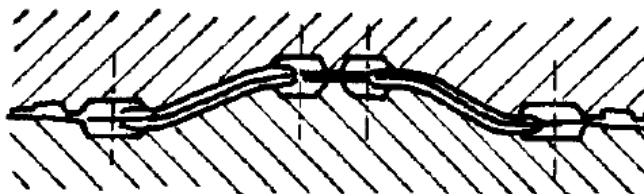
obr. 2.4. Lomená dělicí rovina [5]



obr. 2.5 Dělicí rovina se zámkem [5]

U nejjednodušších dvoudílných zápustek s rovnou dělicí rovinou je forma vypracována jen ve spodní zápustce, kdežto vrchní zápustka je rovná a hladká. Zápustky s lomenou dělicí rovinou se používají při kování složitých tvarů. Dělicí plocha může být lomena jednou i několikrát.

V zápustkách s lomenou dělicí plochou vznikají při kování nepříznivé bočně působící síly, které nám způsobují uvolňování a vzájemné posouvání vrchní a spodní zápustky proti sobě a tím způsobují přesazování výkovek. Toto se odstraňuje vhodnými úpravami zápustek např. zápustky se doplňují vodícími plochami (obr. 2.5), které boční tlaky zachycují nebo se musí kovat dva kusy dohromady (obr.2.6), čímž se boční síly zcela vyrovnají. Někdy je výhodnější kovat s rovnou dělicí plochou a až po vykování výkovek ohnout.



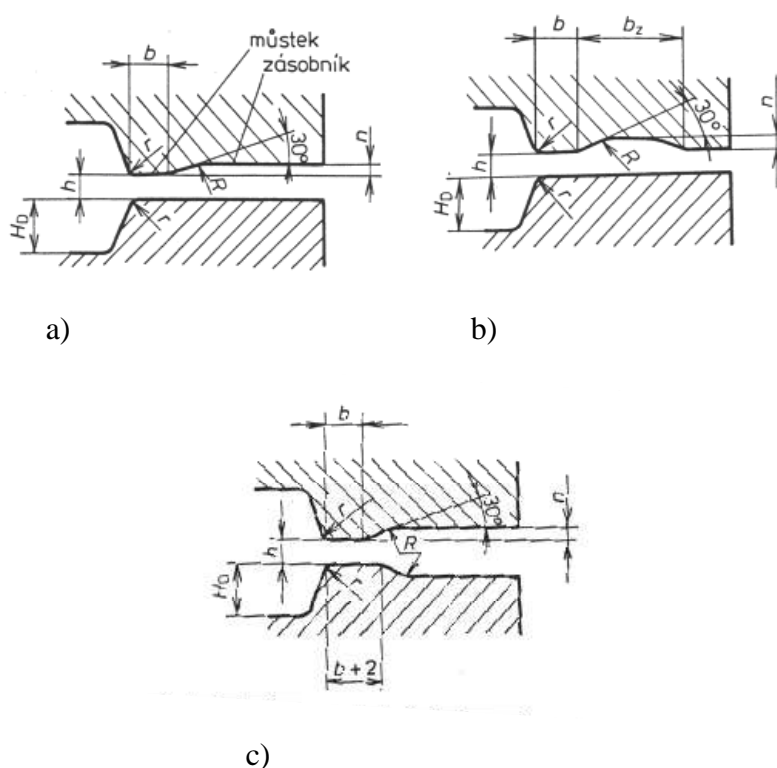
obr. 2.6 Příklad kování dvou kusů dohromady [2]

2.4.4 Výronková drážka [2] [4] [7]

Lis

Při kování na klikových lisech na sebe nesmí zápustky dosednout, proto je výronková drážka otevřená, protože výška výronku je ovlivněna pružením lisu. Lis nesmí být spuštěn bez předehřátého polotovaru v zápustce, jinak by hrozilo zničení zápustek a poškození lisu. Výšku můstku výronku tvoří vzdálenost zápustek mezi dolní úvratí beranu při zapružení lisu. Zásobník se provádí jako vybrání bloku zápustky až k jejímu okraji.

Tvary výronkových drážek jsou na obrázku 2.11. Typ a) je nejběžněji používaný, typ b) se používá v případě velké vzdálenosti dutiny od okraje zápustky. V případě velkého přebytku materiálu je možno vybrání provést v obou částech zápustky. Typ c) je možno použít v případě, že výška výronku h je vyšší než nejmenší výška výkovku. V tomto případě se používá dosedací plocha.



obr. 2.7 Tvary výronkových drážek [7]

Přechod tvaru do dělicí roviny je stejný jako u bucharových zápustek. Tento poloměr však nesmí přesáhnout hodnotu:

- u lisů o jmenovité síle $6,3 \div 16 \text{ MN}$ je $r_{\max} = 3 \text{ mm}$
- u lisů o jmenovité síle $25 \div 40 \text{ MN}$ je $r_{\max} = 4 \text{ mm}$
- u lisů o jmenovité síle až 60 MN je $r_{\max} = 5 \text{ mm}$

Rozměry uvedených typů výronkových drážek jsou uvedeny v tabulkách pro jednotlivé velikosti kovacích lisů.

Objem materiálu připadající na výronek lze vypočítat dle vztahu:

$$V_{výr} = O. \left[b \cdot h + \left(n + \frac{h}{2} \right) \cdot b_z \right] \quad (2.4)$$

Šířka otřepu v zásobníku se volí:

- pro výkovky o hmotnosti do 0,5 kg → 10 mm
- pro výkovky o hmotnosti do 2 kg → 15 mm
- pro výkovky o hmotnosti nad 2 kg → 20 mm

Buchar

Hlavní funkcí výronkové drážky je regulace tlaku v dutině zápustky a zachycení přebytečného materiálu, který do ní uniká. Výronkovou drážku tvoří můstek b a zásobník b_z .

Hlavním regulátorem tlaku v dutině zápustky je můstek výronkové drážky. Členité výkovky vyžadují větší měrné tlaky, tj. nižší výšku výronku h a širší hodnotu b . Poloměr přechodu tvaru do dělicí roviny r je :

$$r = \frac{\sqrt{F_d}}{200} + 0,04 \cdot H_D \quad (2.5)$$

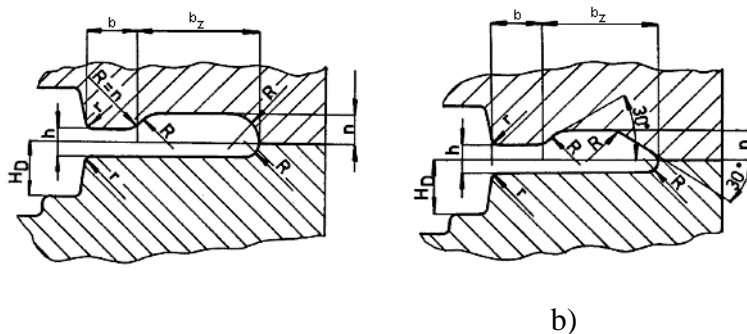
Poloměr r však nesmí přesáhnout určitou hodnotu, ta obvykle bývá 3 až 6 mm, záleží však na velikosti použitého bucharu. Pro stanovení rozměrů výronkové drážky je nutno spočítat výšku můstku h . Ta se spočítá:

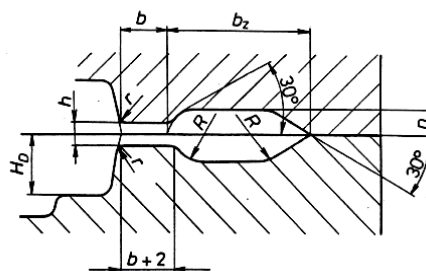
$$h = (0,015 \text{ až } 0,012) \cdot \sqrt{F_D} \quad (2.6)$$

kde se volí 0,012 pro největší výkovky
 0,015 pro malé výkovky

Pro takto vypočtenou výšku můstku se z tabulky potom určí rozměr výronkové drážky z .

Při výpočtu materiálu připadající na výronek a při určování velikosti výchozího polotovaru je rozhodující velikost zásobníku a stupeň jeho zaplnění. Hlavní rozměry zásobníku jsou zřejmé z obrázku 2.8, koeficient zaplnění výronkové drážky v zásobníku je asi 0,7.





c)

obr. 2.8 Tvary výronkových drážek [4]

Používané typy výronkových drážek jsou na obr. 2.8. Typy a) a b) jsou nejčastěji používané a typ c) se používá pro složité výkovky, u kterých je předpoklad většího přebytku materiálu. U typů a) a b) se zásobník umísťuje obvykle do horní části zápustky. Zásobník je možno umístit z technologických důvodů i do spodní části zápustky.

2.4.5 Smrštění [4]

Při stanovení rozměrů dutiny v zápustce je třeba pamatovat na smrštění výkovku při chladnutí v dutině zápustky a na tolerance výkovku.

Z hlediska smrštění výkovku je nutno všechny rozměry dutiny větší jak 10 mm zvětšit proti jmenovitému rozměru o hodnotu smrštění, která je uvedena v tab. 3.

Materiál	Smrštění v %
Běžné oceli	1,0 – 1,3
Ložiskové oceli	1,5
Austenitické oceli	1,5 – 2,0
Mosaz	1,0 – 1,7
Slitiny Cu	1,4
Slitiny Al	0,6 – 1,0

Tab. 2.5 Velikost smrštění [4]

Hodnota smrštění je ovlivněna materiálem, kovací teplotou a tvarem výkovku. U největšího délkového rozměru podélných výkovků (ojnice, páky, ..) se hodnota smrštění zvětšuje až o 50 %, u běžných ocelí max. 1,8 %.

2.4.6 Mazání [9]

Při tváření kovů má mazivo splnit tyto podmínky:

- 1) Zabránit kovovému styku mezi nástrojem a výkovkem a současně chránit nástroj před opotřebením.
- 2) Snížit ztráty vyvolané třením, a tak snížit přetvárný odpor, síly a energie pro danou tvářecí operaci.

Pro výběr maziva jsou rozhodující tato kritéria:

- spojení mazacího a chladícího účinku pro zachování tepelné rovnováhy v nástroji a výkovku
- ovlivnění toku materiálu

- vliv na vytváření povrchu výkovku v místech styku s nástrojem
- snadné nanášení a odstraňování maziva
- ochranný účinek maziva proti korozi
- požadavky na ekologii a ekonomii

Při zápusťkovém kování je účelem maziv především:

- snížit při kování tření mezi zápusťkou a tvářeným materiálem
- zlepšovat kvalitu povrchu výkovku
- snížit otěr zápusťky
- zvyšovat trvanlivost nástroje
- ochlazovat výkovek a nástroj
- vytvářet tepelnou izolaci

Maziva, která se používají při zápusťkovém kování, je možné rozdělit podle skupenství, struktury, konzistence atd. do jednotlivých skupin:

1. Tuhá maziva

Nejvíce používaná maziva. Hlavním reprezentantem je grafit, který se používá do teplot 800°C. Dále sem patří sirníky kovů (Mo, W, Zn), např. sirník molybdeničitý MoS₂, který je určený do teplot do 400°C a sirník wolfraničitý WS₂ určený na teploty do 500°C.

V technické praxi se tuhá maziva používají jako:

- disperzní ve vodě
- disperzní v oleji

2. Kapalná maziva

Nachází stále širší uplatnění při kování v zápusťkách a to pro dobrou viskozitu a termickou stabilitu a schopnost vytvořit plynulou izolační vrstvu, která pomáhá uvolnit výkovek z dutin nástroje. Patří sem:

- minerální a organické oleje
- emulze
- syntetické látky

3. Maziva na bázi mýdel

Kovová mýdla jsou maziva, která se vyznačují dobrou odolností proti vysokému tlaku. Pro obtížné nanášení a pro malou teplotní odolnost (do 200°C) se v zápusťkovém kování prakticky nepoužívají.

4. Piliny

Používají se jako mazivo při kování v hlubokých zápusťkových dutinách. Spálením pilin vznikají plyny a vodní pára, které uvolňují výkovek z dutiny.

5. Soli

Používá se roztok kuchyňské soli a sody. Po odpaření z rozprášeného solného roztoku vrstva solných krystalů chrání funkční plochu zápusťky před opotřebením. Tato maziva mají silné korozivní účinky a znečišťují stroj, nástroj a okolí.

6. Sklo

Maziva na bázi skla se vyznačují dobrými mazacími účinky a poměrně vysokou teplotou použití (např. silikátová, borová a fosfátová skla od 650 do 1300 °C, olověná skla od 320 do 420 °C). Nedostatkem je ale odstraňování zbytků tohoto maziva.

2.5 Ohřev

2.5.1. Ohřívací zařízení [1] [3]

a) Elektrický ohřev

Indukční ohřev

Princip ohřevu spočívá v tom, že vložíme do dutiny cívky (kterou protéká střídavý elektrický proud) kus kovového materiálu, tak se indukují ve vloženém materiálu vířivé proudy. Tyto proudy dosahují velkých hodnot a materiál se rychle zahřívá.

Teplo se však nevyvíjí rovnoměrně v celém průřezu, ale plných 87 % vzniká na povrchu v tzv. hloubce vniku. Hloubka vniku závisí na elektrických a magnetických vlastnostech materiálu a zejména na kmitočtu proudu, kterým je ohřívací cívka napájena.

Při ohřevu pro tvářecí účely je potřeba umožnit teplu postup do vnitřních vrstev materiálu. Proto volíme pomalejší ohřev, aby byl materiál prohřát v celém průřezu. V tab. 2.6 jsou uvedeny vhodné kmitočty pro různé průměry ocelového materiálu.

Průměr materiálu (mm)	Kmitočet (Hz)
170 – 800	50
50 – 170	1 000
35 – 120	2 000
22 – 70	4 400
15 – 40	10 000

Tab. 2.6 Volba kmitočtu dle průměru materiálu [1]

Nepřímý odporový ohřev

Využívá se pro materiály s menší ohřívací teplotou (pod 100 °C) a při menších výrobních sériích. Ohřev je poměrně pomalý a bez řízených atmosfér při něm vzniká značné okuje. V současnosti se využívá stále méně a je nahrazován ohřevem indukčním.

Využití tohoto ohřevu je hlavně při tepelném a chemicko-tepelném zpracování, kdy se pomalý ohřev přímo vyžaduje.

b) Ohřev v peci

Plynová pec

Ohřívají se zde převážně malé kusy pro malé zápusťkové výkovky. V peci je jeden nebo více plynových hořáků. Do hořáků se přivádí plyn a předehřátý vzduch. Vzduch je zahřát pomocí rekuperátoru na $300\text{ }^{\circ}\text{C} \div 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ a tím zvyšuje teplotu plamene. Konstrukce hořáku umožňuje regulaci vzduchu a plynu. Plamen je, buď s přebytkem vzduchu (oxidační) a tím se nám zvyšuje množství okují nebo s přebytkem plynu (redukční).

Karuselová pec

Jsou to pece průchozí. Můžeme v nich ohřívat materiály o různých rozměrech a tvarech. Pec je vyztužena řadou nosných sloupů. Hořáky jsou umístěny na vnějším plášti pece a směřují do protipohybu otáčení nístěje. Pohyb nístěje je buď přetržitý nebo nepřetržitý. Má tři části ohřevu a to část předehřívací, ohřívací a vyrovnávací. Podle toho jsou uvnitř pracovního prostoru rozmístěny ohřívací hořáky.

Výhodou je rovnoměrné prohřátí materiálu, reprodukovatelnost ohřevu a využití tepla ze spalin.

Nevýhodou je půdorysný tvar kruhu a poměrně velký zastavěný prostor.

Talířová pec

Je druh karuselové pece. Ohříváný materiál je uložen na talíři a otáčí se s ním uvnitř pece, kde je téměř stejná teplota. Pec má jeden pracovní otvor. Ohřívací hořáky jsou umístěny na plášti a směřují tangenciálně do pracovního prostoru.

Výhodou pece je její cyklický chod a rovnoměrné rozmístění materiálu na talíři.

Nevýhoda je zhoršená ekonomie talířových pecí oproti karuselovým, protože se zde nevyužívá teplo ze spalin.

Komorová pec

Je jich mnoho typů, které se liší konstrukcí a provedením. Dále se mohou lišit počtem dveří, skladbou vyzdívky, umístěním hořáků, atd.

V zásadě lze dělit komorové pece pro zápusťkové kování na :

- pece jednodveřové
- pece dvoudveřové s dveřmi umístěnými na čelní stěně vedle sebe
- pece dvoudveřové, u nichž jsou jedny dveře umístěny na čelní stěně a druhé na zadní stěně
- pece třídvěřové s dvěma dveřmi umístěnými na čelní stěně a jedněmi na zadní stěně
- pece vícedveřové nebo s jinou kombinací umístění dveřních otvorů

Ocelová konstrukce pece musí být řádně vyztužená z důvodu vysokých teplot. Hořáky jsou umístěny v bočních stěnách, někdy i v klenbě. Pro oboustranný ohřev jsou přidány hořáky, které směřují do kanálů pro nístěj.

Nevýhoda komorových pecí je především v tom, že ohřev není kontinuální a nevyužívá tepla spalin k předehřevu.

Strkací pec

Patří do skupiny průchozích pecí a je vhodná pro ohřev u zápustkového kování. Má mechanizovaný průchod materiálu a pevnou nístěj. Zakládací zařízení je mimo pec. Podle provedení nístěje je možné pece dělit na pece s rovnou nístějí a na pece s vodíciými drážkami. Pracovní prostor se skládá z předeřřivací a ohřívací části. Ohřívací zařízení je umístěno na bočních stěnách. Má regulovatelné odtahové kanálky spalin.

Výhodou je pravidelnost kadence ohříváného materiálu a částečné využívání tepla ze spalin. Má jednodušší provedení než karuselová pec a nižší pozorovací cenu. Lépe využívá zastavěný prostor.

2.5.2 Opal [1]

Opal vzniká oxidací povrchových vrstev ohříváného tělesa v pecní atmosféře, která obsahuje volný kyslík, CO_2 a vodní páru. Neustálým odpadáváním okují z povrchu ohříváného tělesa se oxidace zvyšuje.

Opal má za příčinu:

1. Ztráta kovu (1 ÷ 3 % kovu na jeden ohřev, celkem se znehodnotí v okujích až 4 % vyrobené oceli)
2. Snížení životnosti pecní výlože z důvodu nalepování okují, popř. vznik strusky
3. Nezbytnost zařazení odokujení před vlastním tvářením
4. Snížení životnosti tvářecích nástrojů
5. Možné zatlačení okují do tvářeného polotovaru
6. Nezbytnost čištění povrchu tvářených výrobků před dalším tvářením nebo obráběním

Vznik okují závisí na :

1. Ohřívací teplotě:

Má nejvýraznější vliv. Okuje se začínají tvořit v rozmezí teplot 600 ÷ 900 °C z počátku téměř neznatelně, ale nad teplotou 1 000 °C se začínají tvořit velmi intenzivně. Rychlost oxidace při teplotě 1 320 °C je až sedmkrát vyšší než při teplotě 900 °C.

2. Době ohřevu:

Projevuje se parabolickou závislostí tak, že se s časem zmenšuje přírůstek okují.

3. Pecní atmosféře:

Nejčastěji bývá oxidační (O_2 , CO_2 , H_2O , SO_2), dále pak redukční (N_2). Tlustší vrstva okují z oxidační atmosféry se snadněji odlupuje od základního kovu, kdežto tenčí vrstva redukční nebo neutrální atmosféry lpí pevně na základním kovu, takže odstranění okují je mnohem obtížnější.

4. Chemickém složení:

U nelegovaných ocelí s obsahem uhlíku do 0,3 % vznik okují narůstá, kdežto při vyšším obsahu uhlíku se snižuje, protože s oxidací uhlíku vzniká CO_2 , který omezuje tvorbu dalších okují. Přířadové prvky s vyšší afinitou k železu (Cr, Al, a další) vytvářejí souvislou vrstvu

pevně lpících okují, která rovněž zpomaluje další oxidaci. Přísadové prvky s nižší afinitou (Ni, Cu, Mo, aj.) se vyredukují pod vrstvu okují, čímž nezbrzdí oxidaci.

Ohřev s omezeným opalem:

Opal lze při ohřevu snížit před tvářením dvěma způsoby:

1. Rychlostním ohřevem:

Je založený na intenzivním vnějším tepelném toku, čehož se dosáhne, buď zvýšenou teplotou pece (důraz na přestup tepla sáláním), což však klade velké konstrukční náklady na pecní prostor, nebo zvýšení rychlosti proudění spalin a jejich usměrnění přímo na povrch vsázky (důraz na přestup tepla prouděním) při nižších nárocích na konstrukci pecního prostoru.

2. Řízenou atmosférou pece:

Vytvoří se spalováním topné látky s minimálním přebytkem, popř. mírným nedostatkem vzduchu. Úpravou vzájemného poměru redukčních a oxidačních složek spalin lze dosáhnout výrazného omezení opalu za současného zeslabení ulpívání k základnímu kovu, což nám zjednoduší jejich odstranění před tvářením. Průvodním jevem takto získané ochranné atmosféry jsou spaliny se značnou entalpií, které se využívají k rekuperačnímu předehřívání vzduchu nebo i plynu.

2.6 Kovací stroje a příslušenství

2.6.1 Volba kovacího stroje [4]

Při volbě tvářecího stroje musíme zohlednit u zadané součásti několik hledisek:

- počet kusů
- tvár a rozměry součásti
- velikost tvářecích sil

Dále je potřeba přihlédnout i k vedlejším činitelům, které mohou mít někdy i zásadní vliv na výrobu a to např. parametry tvářecího stroje, uskupení kovací linky, kterou máme k dispozici atd. Rozhodující činitel při volbě stroje je počet kusů, a jaký použijeme nástroj. Rozhodující činitel pro volbu technologie je tedy poměr ceny nástroje k počtu kusů. Dále je tu potřeba i odlišnost zatékání kovu v zápustce na bucharu a na lisu.

2.6.2 Porovnání buchar versus lis [4]

Buchar

- jsou to energetické stroje tj. energie potřebná k tvářením, která se získá tím, že se beran se zabudovanou vrchní zápustkou zvedne, načež se nechá volným pádem nebo za pomoci působení hnací síly (např. pára) spadnout na spodní díl zápustky
- zatékání materiálu je ve směru nebo proti směru rázu
- pracovní rychlost je vyšší
- snadné odstraňování okují
- větší úkosity, zápustka nemá vyhazovač

- zápustka má více pracovních dutin
- má povrchový účinek (tvrdší povrch)
- upínání se provádí pomocí pera a klínu
- větší zápustky z důvodu odolávání větším rázům
- častější výskyt poruch (řemeny, lana, prkna u padacích, pístnice u parovzdušných bucharů)
- horší vedení beranu
- větší udržovací náklad

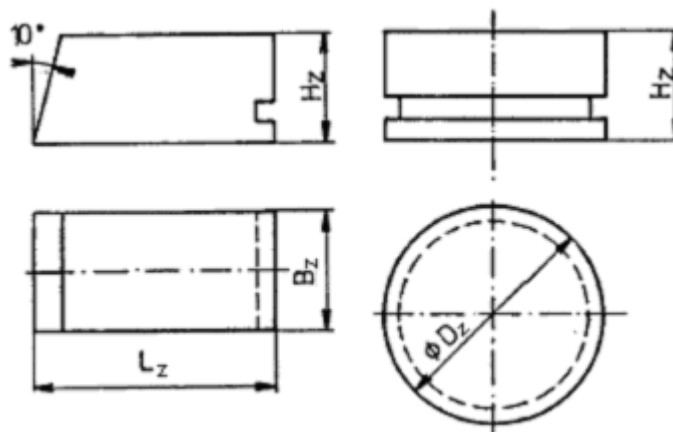
Lis

- silový tvářecí stroj
- zatékání materiálu je lepší kolmo na směr působení síly
- kování masivních výkovků
- lepší a bezpečnější manipulace v pracovním prostoru
- hůře odpadávají okraje
- menší úkosity, snadné vyjímání výkovků, zápustka má vyhazovač
- zápustka má jenom jednu pracovní dutinu
- upínání pomocí upínek
- menší namáhání zápustek, větší životnost
- lepší vedení beranu
- prokování výkovku v celém objemu

2.6.3 Upínání zápustek [4] [6]

LIS

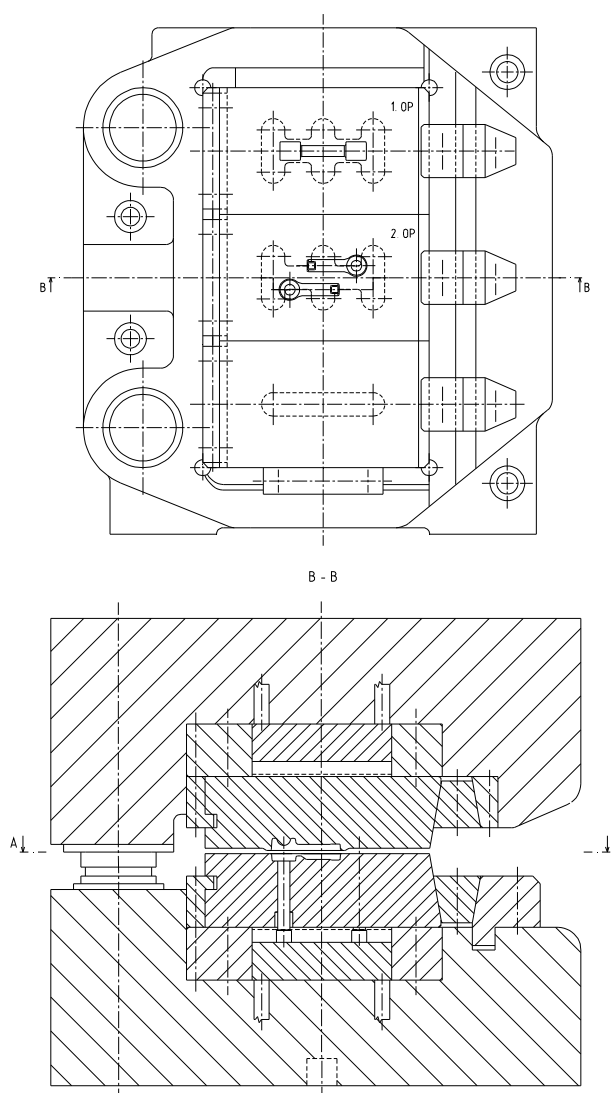
Zápustky se upínají do držáku zápustek. Tvar zápustky je kruhový nebo obdélníkový viz. obr. 2.9. Rozměr zápustek je dán použitým držákem zápustek, jejichž výška je dána sevřenou výškou držáku (výška H), rozměr A je dán sevřenou výškou lisu. Spodní i horní část držáku je uchycena pomocí šroubů, ustavení držáku na lisu se dělá např. pomocí klínových vložek na boku spodní části držáku. Zápustky jsou uloženy na kalenou desku, ve které jsou vybrání pro vyhazovače. Vyhazovače bývají často ve tvaru pravítek s výstupky. V první operaci bývá obvykle jen kolík, protože v této operaci se obvykle provádí jen pěchování polotovaru.



Obr. 2.9 Tvary zápustek [6]

Těleso zápustky má obvykle v zadním držáku případná osazení, za která je upnuta pomocí osazené lišty. Na přední straně zápustky je úkos 10° , o úkosovou část se opírá upínka, která je na opačném konci tvarována jako L a je opřena o úkosovou část drážky v tělese držáku. Upínka je pak přitažena pomocí šroubů a T – drážky. Každá zápustka se upíná samostatně a má pouze jednu dutinu. Dotažením šroubu v T – drážce je zápustka přitlačena na zadní osazenou lištu a současně je přitlačena k podkladové kalené desce. Boční ustavení zápustek se provádí tak, že se zápustky (max. tři) dorazí na jednu stranu k boční liště a na druhé straně jsou dotlačeny pomocí úkosové lišty a šroubů. Pokud je šířka zápustek menší než odpovídá rozměrům držáku, je nutno použít distančních vložek, tzv. mezerníků. Zápustka musí mít vzhledem k sevření stále stejnou výšku tak, aby součet výšek spodní a horní zápustky byl roven sevřené výšce držáku H. Proto, pokud je při obnově zápustky (po opotřebení) snížena výška, je nutno zápustku podložit tak, aby měla původní výšku.

Pro kruhové zápustky se používá stejný systém upínání, jen zadní opěrná lišta a upínky v sobě mají polokruhová vybrání.



Obr. 2.10 Upínání zápustek

2.7 Tepelné zpracování [1]

Samotné kování má příznivý vliv na vlastnosti a strukturu výkovku. Po kování následuje většinou tepelné zpracování, jímž se zlepšuje jakost výkovku, a to s ohledem na jeho další zpracování a použití.

K základním způsobům tepelného zpracování patří:

Žíhání ke snížení pnutí

Používá se pro uvolnění vnitřních pnutí, která se kumulují ve výkovku při rovnání, svařování a ochlazování. Při neodstranění těchto pnutí může dojít při konečných úpravách (obrábění,..) ke zkřivení, lomu či k zborcení součástí.

Obvykle se používá tento postup:

1. pomalý ohřev na teplotu $450 \div 650 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (nejlépe s využitím tepla výkovku chladičného z dokovací teploty)
2. prodleva na žíhací teplotě po dobu $\tau = d/25 \text{ [h]}$
kde $d \text{ [mm]}$ - průměr výkovku
3. ochlazování v uzavřené peci rychlostí $10 \div 12 \text{ K.h}^{-1}$ na teplotu $200 \text{ }^{\circ}\text{C}$
4. ochlazování v otevřené peci, popřípadě na volném vzduchu či v pískovém zásypu

Žíhání na měkko

Účelem žíhání je sferoidizace karbidů ve feritické matici, a tím se zlepší obrobitelnost ocelí se zvýšenou koncentrací uhlíku ($w_c > 0,5 \text{ \%}$) a ocelí legovaných. Podstatou je dlouhodobé žíhání těsně pod teplotou A_{c1} , které však u některých eutektoidních a nadeutektoidních ocelí trvá i přes 40 h.

3. STÁVAJÍCÍ MOŽNOSTI VÝROBY ZADANÉ SOUČÁSTI

Zadaná součást slouží jako držák kulového čepu řízení osobního automobilu. Kulový čep je dále nasazen pomocí kuželové části do ramene řízení a z druhé strany je do držáku našroubována tyč řízení. Součást je tedy značně namáhána a jsou na ní kladeny zvýšené mechanické požadavky. Požadované výrobní množství je 100 000 ks/rok a materiál je ocel ČSN 14 220.3. Stávající možnosti výroby zadané součásti jsou :

- **Odlévání**

Zadaná součást má tvar, který je vhodný pro odlévání. K výhodám odlévání patří zejména vysoké využití materiálu, nízké výrobní náklady a možnost odlít tvaru bez přídavků. Mezi hlavní nevýhody této technologie patří především vznik nestejnorodé struktury odlitku, možnost výskytu vnitřních vad a tedy zhoršené mechanické vlastnosti odlitku.

Jako metodu odlévání by bylo možné použít např. metodu přesného lití, vytavitelný model, nebo odlévání do kovových forem – kokil. Odlévání je vhodné jak pro kusovou, tak pro sériovou výrobu. Při použití této technologie výroby by bylo nutné změnit zadaný materiál (ocel 14 220.3) za materiál, který je vhodný k odlévání, např. uhlíková ocel na odlitky 42 2670, nebo legovaná ocel na odlitky 42 2724, která má vyšší mechanické vlastnosti.

- **Třískové obrábění**

Tato varianta výroby se hodí zejména pro kusovou výrobu, protože je levná a nevyžaduje výrobu speciálních nástrojů na její obrobění. Nevýhodou této varianty je, že při obrábění dochází k porušení materiálových vláken a tím se nedosáhne takových mechanických vlastností, jaké jsou od této součásti očekávány. Další výraznou nevýhodou je malé využití materiálu.

- **Kování**

Další možný způsob výroby zadané součásti je objemovým tvářením za tepla – zápusťkovým kovááním s následným využitím tepelného zpracování a obrábění. Tato metoda je v současné době hojně používána, a je zvláště vhodná pro sériovou a hromadnou výrobu s možností automatizace výroby. Výhodou technologie zápusťkového kováání oproti technologii odlévání, nebo obrábění je dosažení výhodnější struktury a průběhu vláken v součásti. Při kováání dojde k odstranění nestejnorodé struktury a vnitřních vad, které snižují mechanické vlastnosti materiálu. Mezi nevýhody zápusťkového kováání patří především nižší využití materiálu než u odlévání a nutnost konstrukce speciálního nástroje – zápusťky.

4. NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

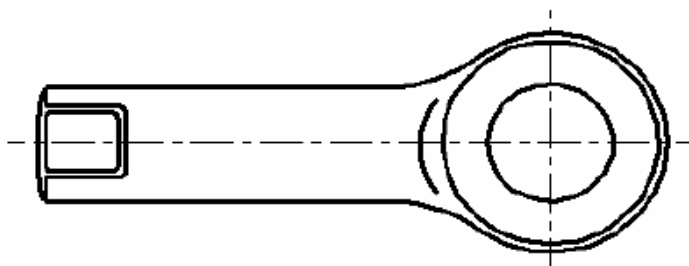
Při navrhování nové technologie výroby zadané součásti je třeba posoudit technologičnost konstrukce tak, aby součást splňovala požadavky na mechanické užité a estetické vlastnosti. Dále je nutné zhodnotit, zda daná technologie výroby umožní výrobu v požadovaném množství kusů za co možná nejmenší výrobní náklady.

Pro zadanou součást, která má nerotační podlouhlý tvar, nejsou s ohledem na její způsob použití kladeny žádné zvláštní nároky na kvalitu povrchu a rozměrovou přesnost. Pro zadanou roční produkci 100 000 ks a s ohledem na požadované mechanické vlastnosti bude nejvýhodnější použít jako novou technologii výroby metodu objemového tváření za tepla – zápusťkové kování. Po zápusťkovém kování bude následovat obrábění, kterým se docílí požadované rozměry a tolerance zadané součásti.

4.1 Zvolení způsobu kování

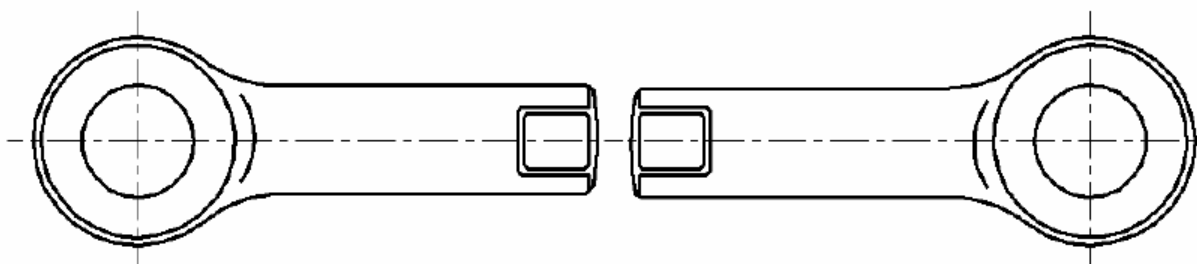
Kování bude prováděno na dvě operace- předkování a dokování. Stroj bude použit svislý klikový kovací lis, který umožní případnou automatizaci procesu a zajistí požadovanou výrobnost.

Zadaná součást umožňuje svým tvarem použití několika variant rozmístění výkovku v bloku zápusťky. Výkovek je možné kovat jako jeden kus, případně kovat více kusů zároveň. Při kování jednoho kusu, jak je znázorněno na obr. 4.1, je vzhledem k malým rozměrům výkovku a tedy k předpokládané malé tvářecí síle potřebné pro kování menší využití kovacího lisu, než při kování více kusů zároveň. Rovněž i tvar ideálního předkovku a využití materiálu je méně výhodné.

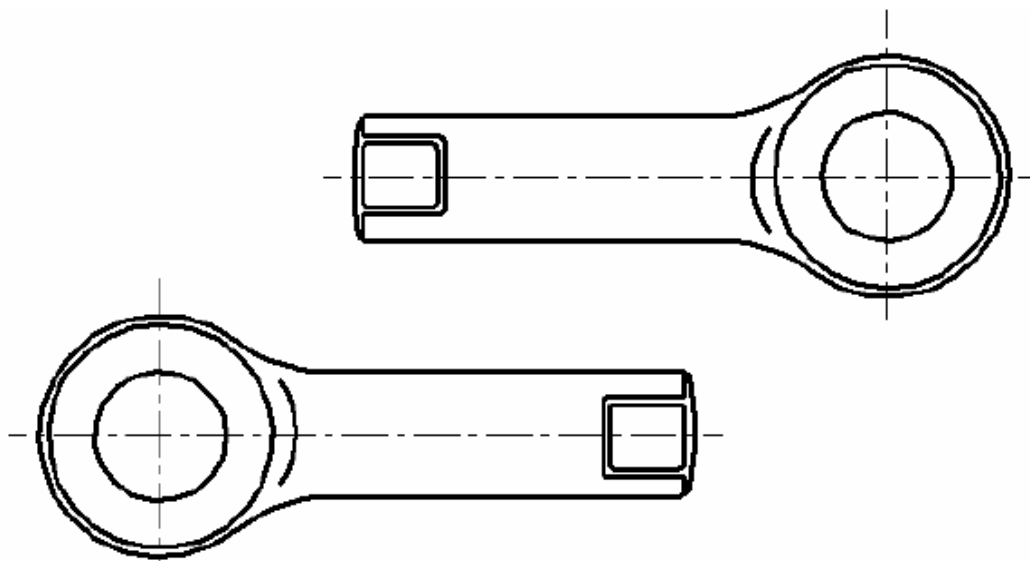


Obr.4.1 Kování jednoho kusu výkovku

Při kování dvou kusů výkovků zároveň je možné použít rovněž více možností vzájemné polohy výkovků, jak je znázorněno na obr. 4.2 a 4.3



Obr.4.2 První varianta rozmístění výkovků v bloku zápusťky při kování dvou kusů



Obr.4.3. Druhá varianta rozmístění výkovků v bloku zápusťky při kování dvou kusů

Jako nejvhodnější bude pro výrobu výkovku s ohledem na druh kovacího stroje použit variantu kování dvou kusů zároveň, jak je znázorněno na obr.4.3. Tato varianta zajišťuje výhodný tvar ideálního předkovku, vysoké využití kovacího stroje a větší využití materiálu.

4.2 Technologický postup

V tabulce 4.1 je navržen vlastní technologický postup výroby nosného tělesa. Součást je vyrobena na devět kroků.

Poř.	Jednotlivé operace
1	Dělení materiálu a doprava do ohřívacího zařízení
2	Ohřev na kovací teplotu
3	Doprava ke kovacímu zařízení a kontrola teploty přířezu
4	1. operace zápusťkového kování
5	2. operace zápusťkového kování
6	Ostřížení výronku
7	Tepelné zpracování
8	Kontrola
9	Moření expedice

Tab. 4.1 Technologický postup

5. STANOVENÍ TECHNOLOGIE VÝROBY

5.1 Materiál výkovku

Součást je mechanicky namáhána, proto jako materiál je použita ocel ČSN 14 220.3. Je to mangan chromová ocel vhodná k cementování a z toho důvodu se používá pro součástky do průměru 35 mm. Má velkou pevnost v jádře, a proto se používá na výrobu ozubených kol, hřídelů, zdvihátek ventilů.

C	Mn	Si	Cr _{max}	Ni _{max}	Cu _{max}	P _{max}	S _{max}
0,14	1,1	0,17	1	-	-	0,035	0,035

Tab. 5.1 Chemické složení oceli ČSN 14 220.3

5.2 Návrh výkovku

5.2.1 Zatřídění výkovku dle složitosti tvaru [13]

Zatřídění pomocí normy ČSN 42 9002.

7960 – 2

7 – (tvarový druh) – výkovky kombinovaných tvarů plné i duté

9 – (tvarová třída) – členité

6 – (tvarová skupina) – výkovky s poměrem (délka/šířka) $L \leq 3B \rightarrow$ výkovky krátké

0 – (tvarová podskupina) – výkovky bez přesahu

2 – (technologické hledisko) – výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy nesouměrné

5.2.2 Přídavky na obrábění [14]

Hodnota přídavků na obrábění je stejná pro všechny rozměry výkovku. Volí se podle největší výšky hotového výkovku.

Přídavky na obrábění se volí dle normy ČSN 42 9030 (tab.1; str.3 – pro obvyklé provedení) :
 $H \approx 24$ [mm], $(L + B) \cdot 0,5 \approx 60$ [mm] - přídavek na obrábění 2 [mm]

5.2.3 Velikost úkosů [14]

Podle použitého kovacího stroje (klikový lis s vyhazovačem) a normy ČSN 42 9030 (tab.6; str.8) jsou voleny velikosti úkosů:

- vnější úkos 3°
- vnitřní úkos 5°

5.2.4 Určení stupně přesnosti [14]

Ze složitosti tvaru určíme stupeň přesnosti. Dle ČSN 42 9030 (tab.7; str.10) je stupeň přesnosti výkovku:

kolmo k rázu – stupeň přesnosti 5

rovnoběžně s rázem – stupeň přesnosti 6

5.2.5 Mezní úchytky a tolerance tvarů [14]

Mezní úchytky a tolerance rozměrů a tvarů se stanoví dle ČSN 42 9030 (tab.10,11; str.13, 14).

H [mm] = přes 40 do 63 [mm], stupeň přesnosti 5 :

mezní úchytky: + 1,0 [mm]

- 0,4 [mm]

tolerance: T = 1,4

- pro H = 25 až 40 [mm], stupeň přesnosti 6 :

mezní úchytky: + 1,4 [mm]

- 0,7 [mm]

tolerance: T = 2,1

5.2.6 Zaoblení hran a přechodů výkovku [14]

Dle normy ČSN 42 9030 (tab.4; str.6) jsou pro poměr h/f do 2 a pro výšku (hloubku) do 25 mm velikosti zaoblení hran a přechodů: **r = 2mm, R = 6mm.**

5.2.7 Mezní úchytky zaoblení hran a přechodů [14]

Hodnoty mezních úchylek zaoblení hran r a přechodů R jsou voleny dle ČSN 42 9030 (tab.13; str.16).

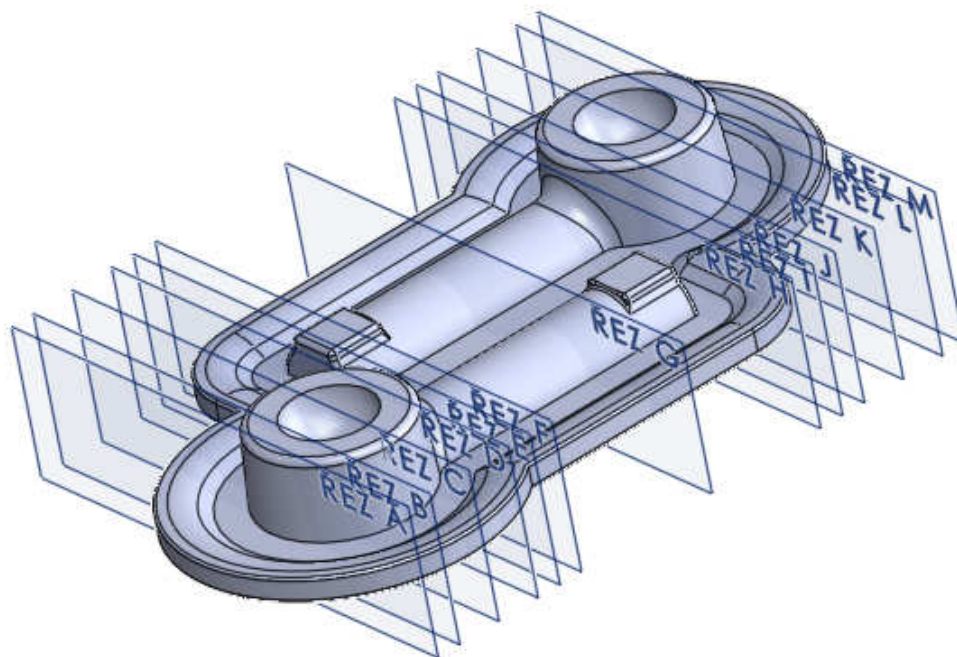
Pro poloměr zaoblení hran r i přechodů R do velikosti 10 mm platí :

+ 0,50 R + 0,25 r

- 0,25 R - 0,50 r

5.3 Návrh ideálního předkovku

Při návrhu ideálního předkovku bylo použito 13 řezů (A až M) a pomocí programu Solid Works byly zjištěny plochy jednotlivých průřezů. Hodnoty průřezů jsou v tab. 5.2. Výška průřezového obrazce a průměr ideálního předkovku je spočítána pomocí těchto hodnot.



Obr. 5.1 Rozmístění řezů

Řez	Plocha řezu výkovku (S_{ip})	Průměr ideálního předkovku (d_{ip})	Výška průřezového obrazce (h_{ip})
	[mm ²]	[mm]	[mm]
A	567	26,9	28,4
B	854	33,0	42,7
C	872	33,4	43,6
D	937	34,6	46,9
E	626	28,3	31,3
F	365	21,6	18,3
G	638	28,5	31,9
H	365	21,6	18,3
I	626	28,3	31,3
J	937	34,6	46,9
K	872	33,4	43,6
L	854	33,0	42,7
M	567	26,9	28,4

Tab. 5.2 Hodnoty průřezů.

Vzorový výpočet:

Průměr ideálního předkovku pro řez C:

$$d_{ip} = 1,13\sqrt{S_{ip}} \quad (5.1)$$

$$d_{ip} = 1,13\sqrt{872} = 33,4 \text{ [mm]}$$

Výška průřezového obrazce pro řez C:

$$h_{ip} = \frac{S_{ip}}{m} \quad (5.2)$$

$$h_{ip} = \frac{872}{20} = 43,6 \text{ [mm]}$$

Objem ideálního předkovku:

Objem ideálního předkovku byl zjištěn pomocí programu SolidWorks

$$V_{ip} = 93393,2 \text{ [mm}^3\text{]}$$

Objem materiálu připadající na opal:

$$V_{op} = V_{ip} \cdot \delta \quad (5.3)$$

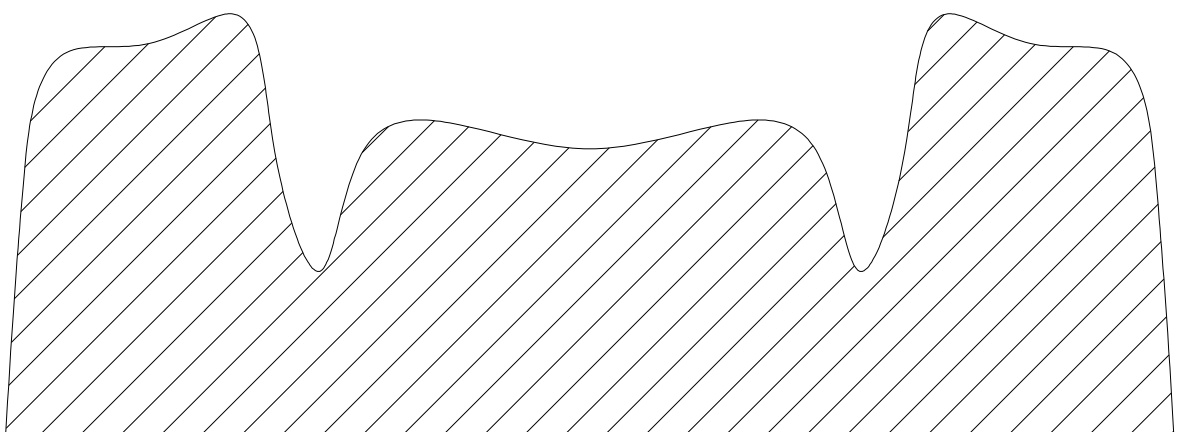
δ – velikost opalu – pro indukční ohřev volíme 1,2%

$$V_{op} = 93393,2 \cdot 0,012 = 1120,7 \text{ [mm}^3\text{]}$$

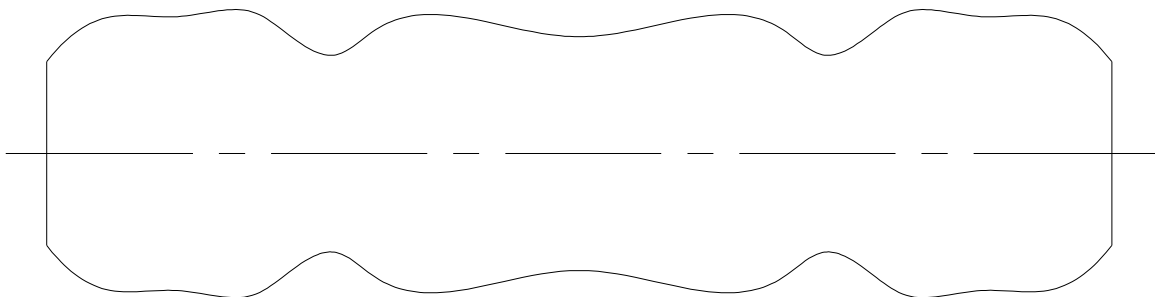
Celkový objem tělesa:

$$V_c = V_{ip} + V_{op} \quad (5.4)$$

$$V_c = 93393,2 + 1120,7 = 94523,9 \text{ [mm}^3\text{]}$$



Obr. 5.2 Průřezový obrazec



Obr. 5.3 Ideální předkovek

5.4 Určení rozměrů polotovaru

Z vypočteného celkového objemu předkovku se určí rozměry polotovaru s ohledem na rozměry a tvar předkovací dutiny. Maximální průměr ideálního předkovku orientačně určuje průřez výchozího polotovaru.

Dle normy ČSN 42 5510 volíme průměr polotovaru : $D_{pol} = 35$ [mm]

Délka polotovaru:

$$L_{pol} = \frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot D_{pol}^2} = \frac{4 \cdot 94513,9}{\pi \cdot 35^2} = 98[\text{mm}] \quad (5.5)$$

5.5 Určení tvářecí síly

5.5.1 Výpočet tvářecí síly podle Brjuchanova-Rebeljského

$$F = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot D_{red}) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{D_{red}}\right) \left(1 + 0,1 \sqrt{\frac{L_v}{B_s}}\right) \cdot \sigma_p \cdot S_v [\text{N}] \quad (5.6)$$

Redukovaný průměr výkovku:

$$D_{red} = 1,13 \cdot \sqrt{S_v} [\text{mm}] \quad (5.7)$$

Střední šířka výkovku:

$$B_s = \frac{S_v}{L_v} [\text{mm}] \quad (5.8)$$

L_V [mm] – maximální délka výkovku v půdoryse

S_V [mm²] – plocha průřezu výkovku do dělicí roviny

σ_P [MPa] – přirozený přetvárný odpor za kovací teploty, (pro kovací teplotu 1050°C je $\sigma_P = 70$ MPa)

$S_V = 4847,6$ [mm] dle SolidWorks

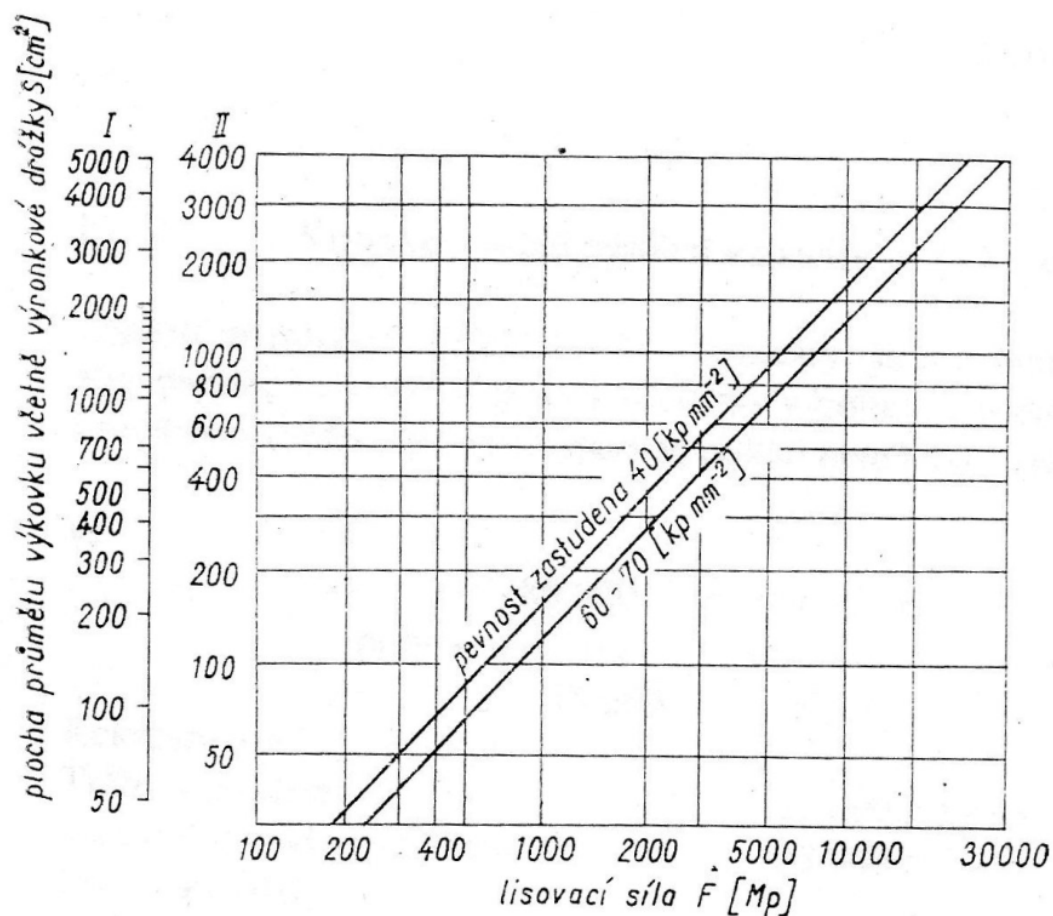
$$D_{red} = 1,13 \cdot \sqrt{4847,6} = 78,7 \text{ [mm]}$$

$$B_S = \frac{4847,6}{127,3} = 38,06 \text{ [mm]}$$

$$F = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot 78,7) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{78,7}\right) \cdot \left(1 + 0,1 \sqrt{\frac{127,3}{38,06}}\right) \cdot 70 \cdot 4847,6 = 4,1 \text{ [MN]}$$

5.5.2 Tvářecí síla podle nomogramu

V tomto případě je tvářecí síla odečtena z nomogramu na obr. 5.4. Plocha průřezu výkovku včetně výronkové drážky je odečtena z programu SolidWorks.



Obr. 5.4 Nomogram pro určení kovací síly [5]

S_c -celková plocha výkovku v dělicí rovině.

$$S_c = 6790 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Síla dle nomogramu:

$$F = 5,2 \text{ [MN]}$$

5.5.3 Porovnání velikostí tvářecích sil

Velikost tvářecí síly závisí na způsobu výpočtu. Od tvářecí síly se odvíjí návrh kovacího stroje. Je nutné zvolit stroj s větší jmenovitou tvářecí silou, než jaká vyšla pomocí výpočtů, aby nedošlo k přetížení stroje při případném náhlém nárůstu tvářecích sil.

5.5.4 Volba kovacího stroje

Na základě tvářecí síly byl zvolen klikový kovací lis LZK 1000 se jmenovitou kovací silou 10 MN. Technické parametry jsou uvedeny v tabulce tab. 5.3.

LZK 1000		
Tvářecí síla	[MN]	10
Sevření	[mm]	620
Průchod	[mm]	1040
Upínací plocha stolu	[mm]	1000x950
Upínací plocha beranu	[mm]	968x750
Přestavitelnost	[mm]	10
Zdvih/Počet zdvihů	[mm]	220/100
Celkový instalovaný výkon	[kW]	65

Tab. 5.3 Parametry lisu

5.6 Výpočet síly pro ostřížení výronku

Výronek z výkovku bude odstřižen za tepla ihned po vykování.

Síla na odstřížení:

$$F_S = 1,6 \cdot L \cdot s \cdot R_{m(T)} \text{ [N]} \quad (5.9)$$

$R_m(T)$ [MPa] – mez pevnosti materiálu pro danou teplotu; pro ocel ČSN 14 220 a teplotu ostřihování 800 °C je $R_m(T) = 126$ [MPa]

$$F_S = 1,6 \cdot (2.222,5) \cdot 2 \cdot 126 = 179 \text{ [kN]}$$

Volba ostříhovacího stroje

Na základě ostříhovací síly byl zvolen ostříhovací lis LKOA 200. Stroj má jmenovitou kovací sílu 2000 kN. Technické parametry jsou uvedeny v tab. 5.4.

LKOA 200		
Tvářecí síla	[kN]	2000
Sevření	[mm]	600
Průchod	[mm]	1420
Upínací plocha stolu	[mm]	1415x1000
Upínací plocha beranu	[mm]	1300x800
Přestavitelnost	[mm]	100
Zdvih/Počet zdvihů	[mm]	180/55
Celkový instalovaný výkon	[kW]	18

Tab. 5.4 Parametry ostříhovacího stroje

5.7 Výpočet střížné síly na dělení polotovaru

Vzhledem k výrobní dávce volíme pro dělení materiálu nůžky. Stříhání bude provedeno za studena.

Výpočet střížné síly:

$$F_{stř} = 1,4 \cdot S \cdot \tau_{PS} \text{ [N]} \quad (5.10)$$

$S \text{ [mm}^2\text{]}$ – velikost střížné plochy

$\tau_{PS} \text{ [MPa]}$ – pevnost ve stříhu ($\tau_{PS}=0,8 R_m$)

$$F_{stř} = 1,4 \cdot 962 \cdot 0,8 \cdot 770 = 830 \text{ [kN]}$$

Dle velikosti vypočítané střížné síly budou pro dělení tyče použity nůžky **Sck 315**, které mají střížnou sílu 3,15 MN a max. průměr stříhané tyče za studena je 106 mm.

5.8 Určení rozměru dutiny zápustky

Při stanovení rozměrů dutiny zápustky se vychází z hodnot smršťování ohřátého kovu, z tolerance výkovku a mezních úchylek.

Všechny rozměry přesahující 10 mm se zvětšují vůči jmenovitým rozměrům o hodnotu smrštění. Smrštění se nevztahuje na spojovací rádiusy.

5.8.1 Smrštění [12]

Hodnoty smrštění se stanoví ze součinitelů tepelné roztažnosti pro daný materiál podle materiálového listu. Pro běžné oceli dle normy ČSN 22 8306 1,0-1,3 %.

5.8.2 Mezní úchylky rozměrů dokončovací dutiny zápustky [12]

Dle normy ČSN 22 8306

Jmenovitý rozměr		Mezní úchlky	
přes	do	kolmo k rázu	ve směru rázu
0	25	0,06	0,07
25	40	0,07	0,1
40	63	0,08	0,12
63	100	0,1	0,15
100	160	0,12	0,2
160	250	0,15	0,25
250	400	0,2	0,3

Tab.5.5 Mezních úchylek [12]

Mezní úchylky rozměrů předkovací dutiny jsou přibližně dvojnásobné vzhledem k mezním rozměrům dokončovací dutiny.

5.8.3 Tvar a rozměr výronkové drážky [12]

Výronkovou drážku volíme dle normy ČSN 22 8306. Zvolily jsme typ typ I. pro obvyklé použití.

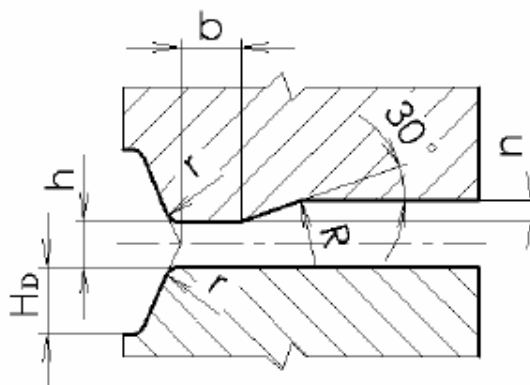
Rozměry výronkové drážky volíme z normy pro lis o jmenovité síle 10 MN.
Hloubka zásobníku:

$$n=0,4h+2 \text{ [mm]} \quad (5.11)$$

$$n=0,4 \cdot 2 + 2 = 2,8 \text{ [mm]}$$

h	[mm]	2
b	[mm]	6
r	[mm]	2
n	[mm]	2,8
R	[mm]	10

Tab.5.6 Rozměry výronkové drážky



Obr. 5.5 Výronková drážka typ. I. obvyklá [12]

5.9 Rozměr zápustky

5.9.1 Minimální tloušťka stěny zápustky [12]

Je nutné určit hodnotu S a S_1 dle normy ČSN 22 8306. S a S_1 určíme pomocí pomocné veličiny T , která je závislá na poloměru R ve spodní části dutiny, hloubce dutiny H_D a úhlu α_1 .

$$T = \frac{11 \cdot H_D \cdot \cos \alpha_1}{\sqrt{H_D + 0,4 \cdot R}} \text{ [mm]} \quad (5.12)$$

$$T = \frac{11 \cdot 16,8 \cdot \cos 3}{\sqrt{16,8 + 0,4 \cdot 2}} = 43,6 \text{ [mm]}$$

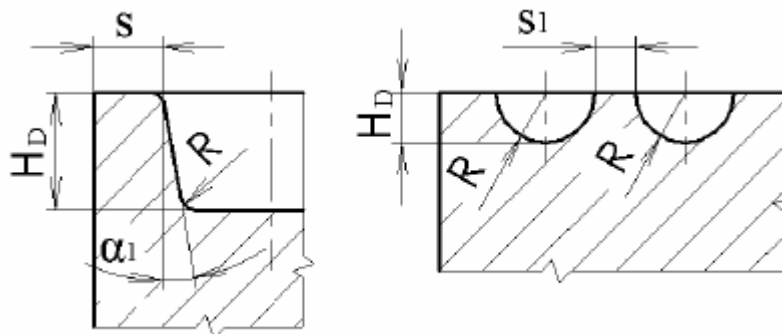
Pro nekulové zápustky se počítá $S = T$
Pro kování více kusů se určuje S_1 podle vzorce:

$$S_1 \geq 0,6T \cdot \cos \alpha_2 \text{ [mm]} \quad (5.13)$$

$$S_1 \geq 0,6 \cdot 28 \cdot \cos 0 = 16,8 \text{ [mm]}$$

Počítáme s $H_D = R$

$$T = \frac{11 \cdot 9 \cdot \cos 0}{\sqrt{9 + 0,4 \cdot 9}} = 28,0 \text{ [mm]} \quad (5.14)$$



Obr.5.6 Rozměry stěn zápustek S a S_1 [12]

5.9.2 Vnější rozměry zápustky

Rozměry zápustky jsou voleny pro upínač QLZK 1000/UC. Tento upínač se nejčastěji používá pro klikový lis

Velikost zápusťkového bloku:

-výška $H=200$ mm

-délka $L=315$ mm

-šířka $K=190$ mm

5.9.3 Volba vyhazovače [12]

Materiál je tvářen v zápustce a pro jeho vyjímání bude použit kolíkový vyhazovač. Aby nedocházelo ke křížení, použijeme dva. Vyhazovač je navržen pomocí normy ČSN 22 8306. Strana 26.

5.9.4 Materiál zápustek [2]

Volím jako výchozí materiál dodaný z hutě 19 663.3 a konečně zpracován na 19 663.9. Výchozí materiál je legovaná Cr-Ni ocel s obsahem 0,55 % C, 0,7 % Mn, 1,1 % Cr, 1,7 % Ni, 0,4 % Mo, 0,2 % V.

Ocel má velkou houževnatost a její tepelné zpracování bude spočívat v zakalení a potom bude následovat dvakrát popuštění na 46-48 HRC. Je odolná proti změnám teploty, proti popouštění a tepelné únavě.

Zvolený materiál je vhodný pro zápustky s pevností nad 1 300 MPa. Mohou mít hlubokou a tvarově členitou dutinu. Dále se z ní vyrábí vložky do zápustek a razníky pro vodorovné kovací lis.

5.10 Ohřev polotovaru

Polotovar je nutno ohřát na kovací teplotu 1150 °C. Ohřev bude probíhat ve středofrekvenční indukční peci od firmy ROBOTERM CHOTĚBOŘ. Je zvolena pec KSO 160, s ohřívacím výkonem 160 kW a maximálním ohřívacím množstvím 360 kg/h.

Tento ohřev zajistí minimální množství opalu (do 1%) a tvorbu okují, které nepříznivě ovlivňují kvalitu povrchu při kování.

6. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

6.1 Náklady na materiál výkovku

Vstupní parametry:

- | | |
|------------------------------------|--------------------------------|
| - množství vyrobených kusů za rok: | $n_{RV} = 100\,000$ [ks/rok] |
| - cena za 1 kg oceli ČSN 14 220: | $PM = 31$ [Kč/kg] |
| - hutní polotvar (zvolen): | $\varnothing 35 - 12000$ [mm] |
| - velikost polotovaru: | $\varnothing 35 - 98$ [mm] |
| - počet výkovků polotovaru: | $n_{VP} = 2$ [ks] |

6.1.1 Určení množství tyčí na výrobní sérii

Počet přířezů z jedné tyče:

$$n_P = \frac{L_T}{L_P + L_{\check{R}}} \text{ [ks]} \quad (6.1)$$

L_T [mm] - délka jedné tyče

L_P [mm] - délka jednoho přířezu

$L_{\check{R}}$ [mm] - šířka řezu – pro stříhání $L_{\check{R}}=0$

$$n_P = \frac{12000}{98} = 122,4 = 122 \text{ [ks]}$$

Počet tyčí potřebných pro celou sérii:

$$n_T = \frac{n_{RV}}{n_P \cdot n_{VP}} \text{ [ks]} \quad (6.2)$$

$$n_T = \frac{10000}{122.2} = 409 \text{ [ks]}$$

6.1.2 Přímé náklady na materiál

$$P_{MN} = n_T \cdot Q_T \cdot P_M \text{ [Kč]} \quad (6.3)$$

Q_T [kg] – hmotnost jedné tyče (90.6 kg)

$$P_{MN} = 409 \cdot 90,6 \cdot 31 = 1\,148\,717 \text{ [Kč]}$$

6.1.3 Náklady na materiál na jeden kus výrobku

$$P_{MNK} = \frac{Q_{SP} \cdot P_M}{n_{VP}} \text{ [Kč]} \quad (6.4)$$

$Q_{PŘ}$ [kg] – hmotnost přříezu (0,74 kg)

Q_{SP} [kg] – spotřební hmotnost ($Q_{PŘ} + \text{zbytek z tyče} / \text{přířez}$; $Q_{SP} = 0,78$ kg)

$$P_{MNK} = \frac{0,78 \cdot 31}{2} = 12,09 \text{ [Kč]}$$

6.1.4 Stupeň využití materiálu

$$k_M = \frac{Q_V \cdot n_{VP}}{Q_{SP}} \text{ [-]} \quad (6.5)$$

Q_V [kg] – čistá hmotnost výkovku – 0,275

$$k_M = \frac{0,275 \cdot 2}{0,78} = 0,71$$

Využití materiálu je 71%.

6.1.5 Hmotnost a cena vratného odpadu za celou sérii

$$Q_{ODP} = [Q_{SP} - (Q_V \cdot n_{VP})] \cdot \frac{n_{RV}}{n_{VP}} \text{ [kg]} \quad (6.6)$$

$$Q_{ODP} = [0,78 - (0,275 \cdot 2)] \cdot \frac{100000}{2} = 11500 \text{ [kg]}$$

Současná cena železného šrotu 2 Kč/kg. Vratná cena za odpad je 23000 Kč

6.2 Cena za zpracování zápustek

Do ceny za zápustku se započítává cena za materiál, cena za obrábění a další náklady spojené s výrobou (TZ atd.)

Cena zjištěná sady zápustek zjištěná ve firmě Zetor je 120 000 Kč za sadu dvou - předkovací a dokončovací zápustka.

Nutné použít tři sady zápustek.

Celková cena za zápustky je 360 000 Kč.

6.3 Režijní náklady

Režijní náklady obsahují náklady na ohřev, výrobu výkovku, tepelné zpracování a podnikovou režii.

Pracoviště	Cena Kč/kg	Cena na jeden kus
ohřev	2,5	1,85
kování	3,5	2,59
stříhání	4,5	3,33
tepelné zpracování	4	2,96
celkem za kus		10,73
podniková režije	800%	85,84

Tab. 6.1 Režijní náklady

6.4 Celkové náklady

Celkové náklady nám dávají konečnou cenu na výrobu celé série a i náklady na výrobu jednoho kusu. Jsou součtem jednotlivých položek jako cena materiálu, náklady na výrobu zápuštěk režijní náklady.

Náklady	Cena Kč
Náklady na materiál	1148710
Náklady na výrobu	8584000
Náklady na zápuštěky	360000
Vratný odpad	-23000
Výrobní náklady na celou sérii	10069710
Výrobní náklady na jeden kus	100,69

Tab. 6.2 Úplné výrobní náklady

7. ZÁVĚR

Cílem mé diplomové práce byl návrh technologie výroby nosného tělesa objemovým tvářením. Zvolen byl klasický postup výroby daného výkovku s konstrukcí nástrojů.

Teoretická část práce je zaměřena na jednotlivé druhy kování a následně na části technologického postupu. Jako možné varianty se nabízely kování na bucharech nebo na svislých kovacích lisech. Pro zadanou součást a pro její tvar se jeví jako nejvhodnější použít zápustkové kování na klikovém lise. Též vzhledem k sériovosti výroby 100 000 kusů ročně je výhodnější použít lis pro časovou úsporu. Kování na lisech je dnes vhodnější i pro menší požadavky na konstrukci budov oproti použití bucharu.

Dále bylo provedeno srovnání s dalšími variantami výroby, kterými jsou obrábění a odlévání. Srovnání je spíše okrajové, protože není hlavním úkolem práce a také při daném zadání vychází zápustkové kování nejvýhodněji.

Na základě teoretického rozboru byl stanoven technologický postup a spočítány tvářecí síly pro potřebu návrhu strojů.

Kování je prováděno na dvě operace v předkovací a dokončovací dutině zápustky. V předkovací dutině dochází ke spěchování polotovaru, což zaručuje lepší rozložení materiálu pro následující operaci. V dutině zápustky se budou kovat dvě součásti naráz. Jejich vyjímání bude zabezpečeno dvěma kolíkovými vyhazovači. Pokud by docházelo k ulpívání výkovku v horní části zápustky, bylo by nutné navrhnout i horní vyhazovač.

Pomocí konstrukce ideálního předkovku byly stanoveny rozměry polotovaru pro výkovek. Vhodnost takto stanoveného polotovaru je nutné v prvních fázích výroby odzkoušet a v případě nutnosti většího objemu materiálu pro dokonalé zaplnění dutiny zápustky tento polotovar upravit na vhodný rozměr.

Po výpočtu sil byl zvolen svislý klikový kovací lis LZK 1000 od firmy Šmeral Brno s jmenovitou kovací silou 10 MN. Podle velikosti lisu byl použit upínač zápustek QLZ 1000 / UZ a zvolena velikost zápustkových bloků.

Následně bude výkovek ostřížen na ustříhovacím lise LKOA 200. Dále pak bude výkovek tryskán a tepelně zpracován a po kontrole bude připraven k expedici.

Součástí práce je výkresová dokumentace zápustek pro první a druhou operaci, výkres výkovku, vyhazovače a postupu kování.

8. SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

A_{pol}	Průměr, nebo délka strany výchozího polotovaru	[mm]
b	Šířka můstku výronkové drážky	[mm]
b_z	Šířka zásobníku výronkové drážky	[mm]
B_s	Střední výška výkovku	[mm]
D_{ip}	Průměr ideálního předkovku	[mm]
D	Průměr kruhových zápustek pro kovací lisy	[mm]
D_D	Maximální průměr dutiny kruhové zápustky	[mm]
D_{pol}	Průměr polotovaru	[mm]
D_{RED}	Redukovaný průměr výkovku	[mm]
F_s	Síla pro ostřížení vnějšího výronku	[MN]
F_{s1}	Síla pro ostřížení vnitřního výronku	[MN]
F_c	Síla pro ostřížení vnějšího a vnitřního výronku	[MN]
F_{CS}	Celková síla pro ostřížení vnějšího a vnitřního výronku	[MN]
g	Dovolené sestřížení a otřep	[mm]
h	Výška můstku výronkové drážky	[mm]
h_{ip}	Výška průřezového obrazce	[mm]
h_1	Výška výkovku od dělicí roviny	[mm]
h_0	Výška výchozího polotovaru při pěchování	[mm]
H_D	Hloubka zápustkové dutiny	[mm]
H_V	Výška vedení zápustky	[mm]
H_{min}	Minimální výška zápustky pro buchary	[mm]
d_0	Průměr výchozího polotovaru při pěchování	[mm]
k_m	Stupeň využití materiálu	[-]
L	Délka polotovaru	[mm]
L_P	Délka jednoho přířezu	[mm]
L_{pol}	Délka polotovaru	[mm]
$L_{\dot{R}}$	Šířka řezu	[mm]
L_T	Délka jedné tyče	[mm]
L_V	Maximální délka výkovku v půdoryse	[mm]
N	Hloubka zásobníku výronkové drážky	[mm]
n_T	Počet tyčí pro celou sérii	[ks]
n_{TS}	Koeficient vlivu tvarové složitosti	[-]

n_p	Počet přířezů z jedné tyče	[ks]
n_{RV}	Roční výrobní dávka	[ks/rok]
n_{vp}	Počet výkovků jednoho přířezu	[ks]
p	Dovolené přesazení	[mm]
P_M	Cena za jeden kg oceli	[Kč]
P_{MN}	Přímé materiálové náklady na celou výrobní dávku	[Kč]
P_{MNK}	Přímé materiálové náklady na jeden kus výkovku	[Kč]
Q_{ODP}	Hmotnost vratného odpadu	[kg]
$Q_{PŘ}$	Hmotnost přířezu	[kg]
Q_{SP}	Spotřební hmotnost	[kg]
Q_T	Hmotnost jedné tyče	[kg]
Q_V	Čistá hmotnost výkovku	[kg]
r	Přechodový poloměr dutiny zápusťky do výronkové drážky	[mm]
R	Poloměr zaoblení	[mm]
R_m	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
R_e	Mez kluzu	[MPa]
s	Minimální vzdálenost dutiny od okraje zápusťky	[mm]
s_1	Minimální vzdálenost mezi dutinami zápusťky	[mm]
S	Velikost střížné plochy	[mm ²]
S_C	Celková plocha výkovku v dělicí rovině (výkovek + můstek)	[mm ²]
S_M	Celková plocha výronkového můstku	[mm ²]
S_{op}	Plocha průřezového obrazce	[mm ²]
SV	Plocha průřezu výkovku v dělicí rovině	[mm ²]
$S_{VŘ}$	Plocha řezu výkovku	[mm ²]
S_{VYR}	Plocha výronkové drážky	[mm ²]
t	Střížná vůle při ostřihování výronku	[mm]
U_{VN}	Úplné výrobní náklady	[Kč]
V_C	Celkový objem předkovku	[mm ³]
V_{ip}	Objem ideálního předkovku	[mm ³]
V_{op}	Objem materiálu na opal	[mm ³]
α	Boční úkos výkovku	[°]
γ	Úhel vedení	[°]
τ_{PS}	Pevnost ve stříhu	[MPa]
σ_P	Přirozený přetvárný odpor	[MPa]

9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ELFMARK, Jiří, et al. *Tváření kovů*. Ing. Pavel Vávra. 1. vyd. Praha : SNTL Praha 1992. 542 s. Technický průvodce; sv. 62. ISBN 80-03-00651-1.
- [2] DVOŘÁK, Milan, a kol. *Technologie II*, Brno
- [3] FOREJT, Milan. *Teorie tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno : Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1991. 187 str. Edit. VUT Brno. ISBN 80-214-0298-6
- [4] HAŠEK, Vladimír. *Kování*, 3. vyd. Praha : SNTL, 1997. 732 s., 2 přílohy. ISBN 04-233-65.
- [5] DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. *Technologie tváření : plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno : CERM 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7
- [6] NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje – Část I. – tváření*. Skripta. 1. vyd., Praha, SNTL Praha, 1984, 112 s.
- [7] DRASTÍK, František. *Výpočty z oboru kování a lisování*. 1. Vyd., Praha: SNTL Praha, 1991. 192s. Edit. Makarius, M., L 13-E1-IV-41/22334/XI, DT 621.73
- [8] KOTOUČ, Jiří, et al. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1993. 349 s. ISBN 80-01-01003-1.
- [9] MAÁR, Karol, *Kovanie*. 1. vyd. Košice : Technická Univerzita, 1991. 317 s. TK-A-0248.215
- [10] PALÁN, Robert. *Výroba opěry tváření*. Brno, 2008. 66 s. , 12. Vedoucí diplomové práce Ing. Kopřiva.
- [11] BERAN, Tomáš. *Technologie kování prstu žací lišty*. Brno, 2007. 71 s. , 15. Vedoucí diplomové práce Doc. Ing. Karel Novotný, CSc.
- [12] Norma ČSN 22 8306. *Zápustky pro svislé kovací lisy – Technické požadavky na konstrukci*. vydal a vytiskl ČNI, Praha 1990, str.39
- [13] Norma ČSN 42 9002. *Rozdělení zápustkových výkovků podle složitosti tvaru*. vydalo ÚNM, Praha 1968, str. 36
- [14] Norma ČSN 42 9030. *Výkovky ocelové zápustkové – Přídavky na obrábění, mezní úchytky rozměrů a tvarů*. vydalo ÚNM, Praha 1986, str. 22
- [15] Norma ČSN 21 1420. *Upínání zápustek na svislých klikových kovacích lisech*. vydalo ÚNM, Praha 1971, str. 17
- [16] Prodej hutního materiálu [online]. 2009 . Dostupný z WWW: <www.ferona.cz>.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 : Materiálový list oceli ČSN 14 220

Příloha 2 : Materiálový list oceli ČSN 19 663

Příloha 3 : Výkres zadaného výkovku - VUT-09-01

Příloha 4 : Výkres technologického postupu - VUT-09-02

Příloha 5 : Výkres kolíkového vyhazovače - VUT-09-03

Příloha 6 : Výkres upínače zápustek - VUT-09-10

Příloha 7 : Výkres zápustky – spodní 1 operace - VUT-09-11

Příloha 8 : Výkres zápustky – horní 1 operace - VUT-09-12

Příloha 9 : Výkres zápustky – spodní 2 operace - VUT-09-13

Příloha 10 : Výkres zápustky – spodní 2 operace - VUT-09-14